



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
VASA YRKESHÖGSKOLA
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Marko Kuha

AUTOMAATTISEN TUOTANTOSOLUN KEHITYSTYÖ

Tekniikka ja liikenne
2012

TIIVISTELMÄ

| | |
|--------------------|--|
| Tekijä | Marko Kuha |
| Opinnäytetyön nimi | Automaattisen tuotantosolun kehitystyö |
| Vuosi | 2012 |
| Kieli | suomi |
| Sivumäärä | 59 + 3 liitettä |
| Ohjaaja | Mika Billing |

Tämä opinnäytetyö on tehty vaasalaiseen teollisuuden alan yritykseen, Kilkanen Oy. Opinnäytetyön aiheena on mukauttaa jo olemassa oleva automatisoitu tuotantosolu uuden tuotteen valmistukseen.

Opinnäytetyön tavoiteltuna lopputuloksena on tuotantosolun täysi valmius sujuvaan automaattiseen tuotevalmistukseen. Työn kohteena oleva tuotantosolu on työn alussa asennettu paikoilleen ja käyttöönotto on suoritettu. Solussa on kuitenkin paljon muokattavia kohteita tuotemuutoksen mahdollistamiseksi.

Tämän opinnäytetyön käytännön osuus rakentuu soluun tarvittavien muutostöiden kartoituksesta, muutostöiden suunnittelusta ja suunnitelmien toteutuksesta. Solun toimivuutta kokonaisuutena myös testattiin muutostöiden jälkeen.

Opinnäytetyön tulos vastasi tavoitteita. Työhön sisältyy myös suositeltuja ehdotuksia automaattikäytön käyttöönoton toteutuksesta.

ABSTRACT

| | |
|--------------------|--|
| Author | Marko Kuha |
| Title | Development of Automated Production Cell |
| Year | 2012 |
| Language | Finnish |
| Pages | 59 + 3 Appendices |
| Name of Supervisor | Mika Billing |

This thesis was made for industrial field company Kilkanen Oy, Vaasa. The subject of the thesis is to modify an automatic production cell for a new production strategy.

The aimed outcome of the project is the capability of fully automated product manufacturing in the production cell within the new production strategy. In the beginning of the project, the production cell in question has been set up and commissioning has been completed. However, there are several details that need customizing and parts that need recreating in order to make the new production strategy possible.

The practical phase of the thesis consists of detecting necessary modifications of the cell, designing these modifications and realizing them. In addition, the functionality of the production cell as a whole was tested after the modifications.

The result of the thesis came out as planned. The conclusion of the project also contains recommended suggestions of the automated operation solutions.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | JOHDANTO..... | 6 |
| 1.1 | Yritys..... | 6 |
| 1.2 | Työn aihe | 6 |
| 1.3 | Työn tavoitteet | 6 |
| 2 | AUTOMATISOITU TUOTANTOSOLU..... | 7 |
| 2.1 | Yleistä..... | 7 |
| 2.2 | Tyypilliseen automaattiseen tuotantosoluun sisältyviä laitteita..... | 9 |
| 2.3 | Teollisuusrobotti | 10 |
| 2.3.1 | Yleisesti..... | 10 |
| 2.3.2 | Toimintaperiaate yleisesti | 11 |
| 2.3.3 | Rakenne ja fyysinen toimintaperiaate | 11 |
| 2.3.4 | Työkalut ja niiden suunnittelu..... | 13 |
| 2.3.5 | Käyttö..... | 17 |
| 2.4 | Työturvallisuus automaattisessa tuotantosolussa..... | 20 |
| 3 | TYÖN ALKUTILANNE..... | 23 |
| 3.1 | Tuote | 23 |
| 3.2 | Käyttövalmiiksi asennettu robottisolu | 24 |
| 3.2.1 | Lay-out | 24 |
| 3.2.2 | Robotti..... | 24 |
| 3.2.3 | Konenäkö | 27 |
| 3.2.4 | Sorvi | 27 |
| 3.3 | Soluun tarvittavat muutostyöt | 28 |
| 3.3.1 | Muutostöiden lähtökohtainen periaate | 28 |
| 3.3.2 | Aihiokappalemakasiini..... | 29 |
| 3.3.3 | Robotin tarrain | 29 |
| 3.3.4 | Sorvi | 29 |
| 4 | TYÖN ETENEMINEN | 30 |
| 4.1 | Suunnittelu | 30 |

| | | |
|-------|--|----|
| 4.1.1 | Aihiomakasiini | 30 |
| 4.1.2 | Robotin tarrain | 34 |
| 4.2 | Toteutus..... | 37 |
| 4.2.1 | Aihiomakasiini | 37 |
| 4.2.2 | Robotin tarrain | 39 |
| 4.3 | Robotin automaattikäytön suunnittelu | 41 |
| 4.3.1 | Ohjelman rakenne ja periaate..... | 41 |
| 4.3.2 | Toteutuksen vaihtoehto 1..... | 48 |
| 4.3.3 | Toteutuksen vaihtoehto 2..... | 49 |
| 4.3.4 | Toteutuksen vaihtoehto 3..... | 50 |
| 4.3.5 | Toteutuksen vaihtoehtojen vertailu | 52 |
| 5 | TYÖN TULOKSET | 53 |
| 5.1 | Soluun tehdyt muutostyöt | 53 |
| 5.1.1 | Yleisesti..... | 53 |
| 5.1.2 | Aihiomakasiini | 53 |
| 5.1.3 | Robotin tarrain | 53 |
| 5.1.4 | Sorvi | 54 |
| 5.2 | Tuotantosolun automaattikäyttö..... | 54 |
| 6 | YHTEENVETO JA ARVIOINTI | 55 |
| 6.1 | Toimivuus | 55 |
| 6.2 | Työn hyödyllisyys yritykselle..... | 55 |
| 6.3 | Oma arviointi opinnäytetyöstä..... | 55 |
| | LÄHTEET..... | 57 |
| | LIITTEET | 59 |

1 JOHDANTO

1.1 Yritys

Tämä opinnäytetyö tehdään Vaasalaiseen yritykseen, Kilkanen Oy. Kyseessä on vuonna 1969 perustettu perheyritys. Yritys tuottaa sarja-, piensarja- ja mittatilaustyönä, CNC- ja manuaalikoneistettuja tuotteita vaihtelevista materiaaleista.

Kilkanen Oy:n pääasialliseen työkonekantaan kuuluu lukuisia CNC- ja manuaaliohjattuja metallintyöstökoneita. Yritys on yksi Leinolat Group – yritysryhmän kuudesta teollisuuden alan yrityksestä.

Kilkanen Oy työllistää noin 25 henkilöä, joista lähes kaikki ovat cnc –koneistajia.

1.2 Työn aihe

Tämän opinnäytetyön aiheena on yritykseen valmiiksi asennetun tuotantosolun automaattisen tuotantotavan käyttöönoton suunnittelu ja toteutus, sekä niihin liittyvien ongelmien ratkaisu.

Solun toiminnan automatisointi suunnitellaan ensisijaisesti vain ennalta sovittujen tuotenimikkeiden tuotantoon. Kysessä on yksi tuote, josta on kolme tuotevariaatiota. Sovittuja tuotenimikkeitä on siis kolme, joita tilataan normaalisti 150 – 300 kappaleen suuruisissa sarjoissa ja tilauksia vastaanotetaan suhteellisen säännöllisin väliajoin, joten niiden tuotannon automatisointi on järkevää.

1.3 Työn tavoitteet

Opinnäytetyön tavoiteltu lopputulos on toimiva, automaattinen tuotantosolu, joka ei vaadi fyysisiä muutostöitä kohdetuotteen variaation vaihtuessa. Solun häiriöherkkyys sekä käsin tehtävä työ pyritään minimoimaan. Koneen käyttäjälle jää siis vain normaalit huolto- ja valvontatehtävät, jotka kuuluvat tällaisen solun tuotannon ylläpitoon.

2 AUTOMATISOITU TUOTANTOSOLU

2.1 Yleistä

Teollisuudessa tuotantosolulla tarkoitetaan yleisesti jonkin tuotteen- tai osan valmistusprosessissa, jonkin - yhden tai useamman - työvaiheen suorittamiseen suunniteltua tuotantopistettä /4/. Automatisoidussa tuotantosolussa, tämä laiteryhmä toimii joko täysin tai osittain automaattisesti, ilman lihasvoimin tehtävää työtä. Esimerkki yksinkertaisesta automatisoidusta tuotantosolusta kuvassa 1, jossa robotti siirtää tuoteaihion kuljettimelta työkoneeseen ja työkoneesta valmiin tuotteen tuotemakasiiniin /14/.



Kuva 1. Esimerkki automatisoidusta tuotantosolusta. /14/.

Tuotantosolun automatisoinnin hyötyjä:

- Yrityksen palkkakustannusten väheneminen.
- Työntekijöitä saadaan vapautettua muihin töihin.
- Solun tuotantotehokkuus kasvaa.
- Tasalaatuisuus vakaantuu.
- Epämiellyttävä työ karsiutuu ihmisiltä koneiden tehtäväksi.

Tuotantosolu kannattaa automatisoida jos kohdetuotetta valmistetaan sarjatuotantona ja automatisoinnin takaisinmaksuaika jää kohtuulliseksi. Takaisinmaksuaika tarkoittaa investoinnin suuruutta suhteessa sen tuottamiin säästöihin muissa kustannuksissa, määritellyssä aikayksikössä /23/.

Tuotteen valmistusprosessissa käytetään yleensä useampaa erillistä tuotantosolua, riippuen siitä, kuinka pitkälle valmistusprosessi on automatisoitu, kuinka monta työvaihetta tuotteen valmistusprosessissa on, tai siitä, kuinka monta työvaihetta on saatu toteutettua yhdessä solussa suoritettavaksi.

Mielivaltainen esimerkki työvaiheista vaikkapa putkituotannossa:

1. Leikkaus → Sahaus määrämittoihin ensimmäisessä solussa.
2. Taivutus → Taivutetaan vaadittavat muodot toisessa solussa.
3. Maalaus → Maalataan tuote kolmannessa solussa.
4. Pakkaus → Pakataan toimitukseen viimeisessä solussa.

Automaattista tuotantosolua suunniteltaessa, yksi tärkeimmistä asioista on mahdollisimman lyhyt aika sille jaksolle, joka alkaa tuotteen tullessa soluun ja päättyy sen lähtiessä solusta käsiteltynä. Tämä aihe on yleensä yrityksissä jatkuvan parantamisen kohteena.

Suurissa tuotantolaitoksissa – joissa automaatio on viety hyvin pitkälle – on tyypillisesti automaattinen kuljetinlinjasto, joka siirtää kappaleita lineaarisesti solujen välillä. Tällaisia ratkaisuja näkee lähes poikkeuksetta esimerkiksi autoteollisuudessa korinvalmistuksessa (**Kuva 2.**). Tällöin jatkuvan parantamisen kohteista, yhtenä tärkeimpänä aiheena on tuotteen läpimenoaika tehtaassa tai

osastossa. Karkeasti määriteltynä, läpimenoajalla tarkoitetaan sitä aikaa, joka kuluu kun tuoteaihi kulkee valmistusprosessin alusta loppuun /13/. Tällaisissa tapauksissa luonnollisesti yksittäisten solujen työhön käyttämän ajan lyhentäminen korostuu entisestään, jotta läpimenoaika saadaan mahdollisimman pieneksi.



Kuva 2. Esimerkki tuotantolinjastosta, jossa tuotantosolut sekä tuotteen siirtäminen niiden välillä, ovat täysin automatisoitu. /22/.

2.2 Tyypilliseen automaattiseen tuotantosoluun sisältyviä laitteita

Periaatteessa, tuotantosoluun voi sisältyä miten paljon laitteita tahansa. Yleensä soluun kuuluu kuitenkin vain muutama laite.

Täysin automaattisessa solussa kaikkein pelkistetyin kokoonpano on kaksi välivarastoa, joista toisessa on käsitellyt, ja toisessa käsittelyä odottavat kappaleet, yksi työkone, jolla varsinainen käsittely tehdään sekä apulaite, jolla kappaletta siirretään työkoneen ja varastojen välillä. Tämä apulaite on usein teollisuusrobotti.

Välivarastojen tyhjentäminen ja täyttäminen jää tällaisessa tapauksessa ihmisen tehtäväksi. Luonnollisesti kaikki automaattisesti toimivat laitteet vaativat lisäksi omat ohjausyksikkönsä, joilla käyttäjä (ihminen) määrittää laitteille toimintaparametrit.

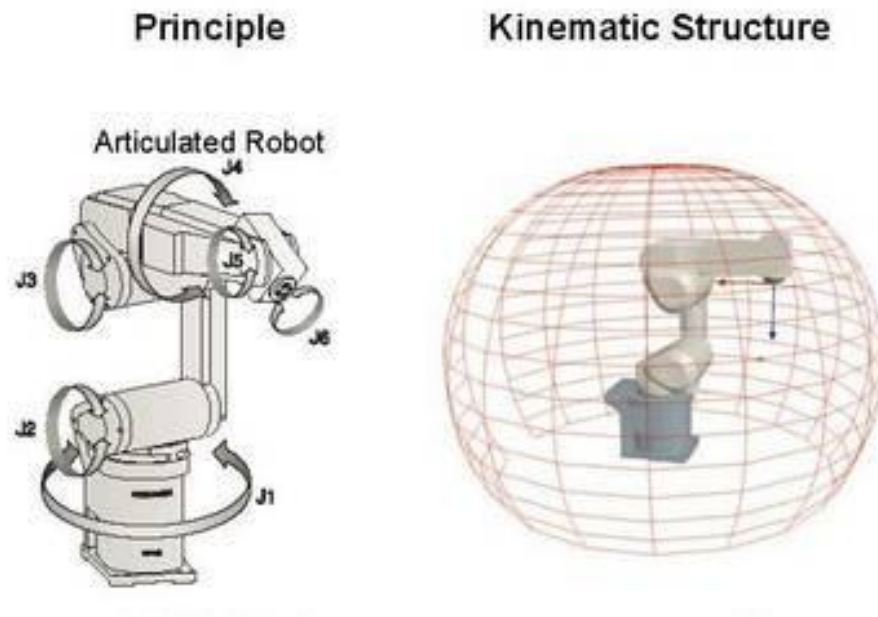
Suuremmassa tuotantosolussa voi olla montakin varsinaista työkonetta, työkoneille aputyökoneita, erilaisia kuljettimia (harvinaisempaa) ja useampi robotti, joissa voi olla erilaisia konenäköratkaisuja. Robotti voi myös itse toimia varsinaisena työkoneena, esimerkiksi hitsauksessa tai maalauksessa.

2.3 Teollisuusrobotti

2.3.1 Yleisesti

ISO 8373 –standardin mukainen määritelmä teollisuusrobotille: "automatically controlled, reprogrammable multipurpose manipulator programmable in three or more axes", joka tarkoittaa suomeksi automaattisesti ohjattua, uudelleenohjelmoitavaa, monikäyttöistä käsittelylaitetta, joka on ohjelmoitavissa kolmella tai useammalla vapausasteella. /10/.

Yleisesti teollisuusrobotteja on hyvinkin monenlaisia ja montaa eri tyyppiä, joita jaotellaan normaalisti rakenteidensa perusteella /11/. Tässä opinnäytetyössä perehdyn älykkääseen, kuudella vapausasteella toimivaan, avoimen kinemaattisen rakenteen omaavaan, kiertyväniveliseen teollisuusrobottiin (**Kuva 3.**), koska tämäntyyppinen robotti on käytössä työn käytännön osuuden kohteessa.



Kuva 3. Periaatekuva kiertyvänivelisestä, kuuden vapausasteen ja avoimen kinemaattisen rakenteen omaavasta teollisuusrobotista. /11/.

2.3.2 Toimintaperiaate yleisesti

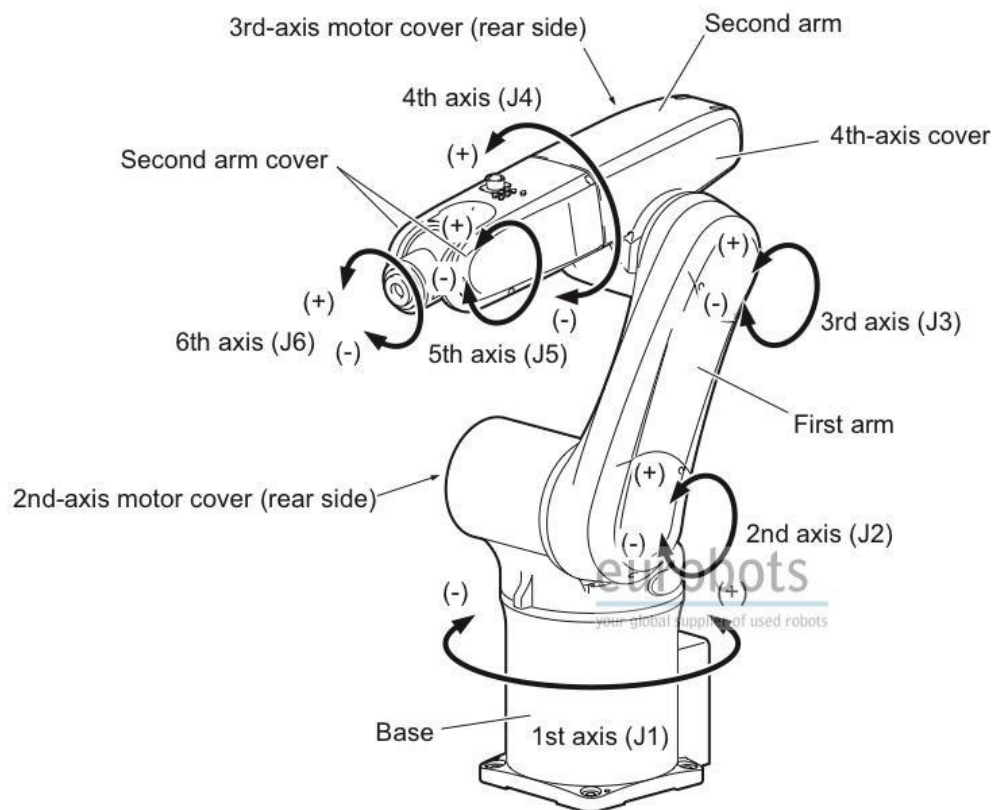
Yksinkertaisesti ajateltuna, älykäs teollisuusrobotti liikuttaa työkalua, käyttäjän määrittelemien parametrien perusteella /2/. Työkalu voi olla periaatteessa mikä tahansa. Jos robotti on tarkoitettu vain kappaleiden siirtelyyn, työkalu on jonkinlainen tarrain, tai jos robotti on tarkoitettu vaikkapa hitsaukseen, työkalu on hitsauslaite. /3/.

Robotiikassa, älyllä tarkoitetaan robottiin mahdollisesti kuuluvaa aistitekniikkaa, esimerkiksi tunto-, näkö- tai hajuasti. Tällaisella tekniikalla, robotti voidaan esimerkiksi saada ohjelmoitua selviytymään poikkeustilanteista ja vaihtelevassa toimintaympäristössä. /3/.

2.3.3 Rakenne ja fyysinen toimintaperiaate

Yksinkertaisesti: teollisuusrobotin kuuden vapausasteen ja avoimen kinematiikan rakenne koostuu jalustasta, tukivarsista, työkalulaipasta ja niitä yhdistävistä

nivelistä (**Kuva 4.**). Avoin kinemaattinen rakenne tarkoittaa sitä, että tukivarret ovat kytkettyinä sarjaan, toistensa perään. Tällaisessa rakenteessa, tukivarsien sarjan toinen pää on jalustassa ja toinen pää työkalulaipassa. Kuusi vapausastetta tarkoittaa sitä, että robotissa on kuusi niveltä, jotka kukin kääntyessään muuttavat työkalun asemaa.



Kuva 4. Perusrakennekuva kiertyvänivelisestä, kuuden vapausasteen ja avoimen kinemaattisen rakenteen omaavasta teollisuusrobotista. /9/.

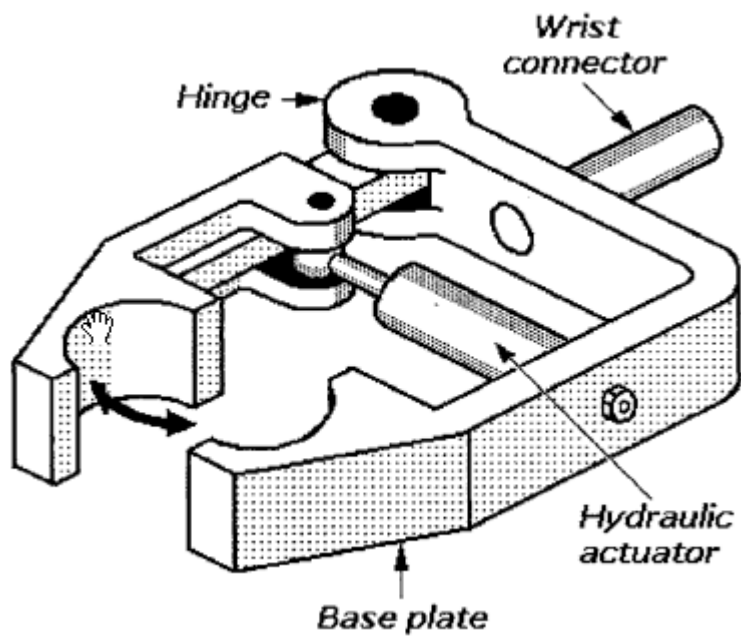
Robotin jalusta on normaalisti kiinteästi lattiaan asennettu. Jalusta voi olla myös jollain tavalla käytön aikana liikuteltavissa – jolloin koko robotti siis liikkuu jalustan mukana – mutta tällaiset ratkaisut ovat harvinaisempia tämän tyyppisissä roboteissa.

Robotin tukivarret toimivat koneen runkoelementteinä. Vähintäänkin osittain tukivarsien sisällä suojassa, ovat nivelten voimanlähteenä toimivat servomootorit, voimansiirto moottoreilta niveliin ja paikka-anturointi jokaiselle nivelelle. Anturoinnin perusteella, robotin ohjausyksikkö tietää koko ajan robotin asennon. /2/.

Kiertyvänivelisen robotin niveliä pyörittävät siis lähes poikkeuksetta sähköisesti ohjatut, erittäin tarkat servomootorit. Riippuen robotin koosta ja tukivarsien rakenneratkaisuista, tämäntyyppiset robotit pystyvät käsittelemään ainakin 0 – 500 kg kappaleita, vähintään 0.09 mm paikoitustarkkuudella /1/. Markkinoilla on myös vielä suurempiakin robotteja, joiden käsittelykyky ylittää jopa 1000 kg, mutta tällaiset robotit ovat suhteellisen harvinaisia, koska niiden tarkkuus (0.5 mm) ei enää vastaa pienempien mallien tasoa ja yli 1000 kg käsittelykyky on harvassa käyttökohteessa välttämätön vaatimus. Tällaiset suuret robotit ovat luonnollisesti myös kalliita. /5/.

2.3.4 Työkalut ja niiden suunnittelu

Yleisin teollisuudessa käytetty robotin työkalu on tarraintyökalu, jolla toteutetaan työn kohteena olevien kappaleiden siirtely. Tarraimia on monentyyppisiä, riippuen käyttökohteesta ja –sovelluksesta. Karkeasti tarraintyyppejä voitaisiin jaotella esimerkiksi mekaanisiin tarraimiin (**Kuva 5.**), imu- eli tyhjiötarraimiin (**Kuva 6.**), magneettitarraimiin (**Kuva 7.**) ja yksilöllisesti käyttökohteen mukaan suunniteltuihin erikoistarraimiin. /15/.



Kuva 5. Esimerkki yksinkertaisesta mekaanisesta tarraimesta. /7/.



Kuva 6. Esimerkki imukuppitarraimesta. /18/.



Kuva 7. Esimerkki magneettitarraimesta. /19/.

Jos teollisuusrobottia käytetään tuotteen valmistusprosessissa, prosessin jonkin työvaiheen suorittamiseen, robotin työkaluna voi olla jokin työlaite, esimerkiksi hitsauspistooli, maaliruisku tai liimasuutin. /15/.

Kaikkissa teollisuusrobottien ohjauslaitteissa on mahdollista ohjelmoida monen eri työkalun parametrit laitteen muistiin. Nämä muistipaikat ovat numerojärjestyksessä ja jos robotin työkalua vaihdetaan, on uuden työkalun parametrit nopeasti otettavissa muistista käyttöön jos se on aiemmin jo kerran ohjauslaitteeseen ohjelmoitu. Tämä on kätevä ominaisuus, jos yhdessä työvaiheessa tarvitaan montaa eri työkalua, mutta käytössä on vain yksi robotti. Robotti voidaan ohjelmoida suorittamaan itsenäisesti ja ottamaan seuraavan

työkalun parametrit käyttöön automaattisesti. Automaattinen työkalunvaihto tosin vaatii erillisen työkalutelineen tai –makasiinin, jotta työkalut saadaan aina samaan ja oikeaan pisteeseen ja –asentoon, robotin suorittaessa työkalunvaihdon.

Työkalusuunnittelu on tärkeä vaihe koko robottisolun suunnittelussa ja siinä on paljon huomioitavaa. Vääränlainen tarttuja voi lisätä huomattavastikin robotin häiriöherkkyyttä tai vaiheaikoja. Oli työkalu minkälainen hyvänsä, sitä suunnitellessa tulee ottaa huomioon esimerkiksi sen paino (suhteessa robotin käsittelykapasiteettiin), soveltuvuus käsiteltävään kohteeseen ja –ympäristöön, tarrantyyppisessä työkalussa tartuntavoimien suuruus ja muodonmuutokset, käyttövoimien välitys työkaluun (paineilma, hydraulikka, magnetismi) ja tilavaatimukset. /15/.

Nykypäivänä teollisuusrobottien työkalujen – etenkin tarraimien – suunnittelu tapahtuu useimmiten 3D –ympäristössä tietokoneella. 3D –tuotesuunnitteluohjelmistot ovat etevä tapa viimeistellä työkalu mahdollisimman hyvin kohteeseen soveltuvaan muotoonsa, ennen sen valmistamista. Kuten kuvassa 8. havaitaan, voidaan tarttujaa suunnitellessa 3D –ympäristössä tietokoneella, valmiin tarttujan toimintaa voidaan simuloida esimerkiksi yhdistämällä käsiteltävän kappaleen malli tarttujan malliin.



Kuva 8. Kuvakaappaus tähän opinnäytetyöhön liittyvän tarttujan 3D –mallista. Mallissa tarttuja pitää kiinni kohdetuotteena olevasta putkesta.

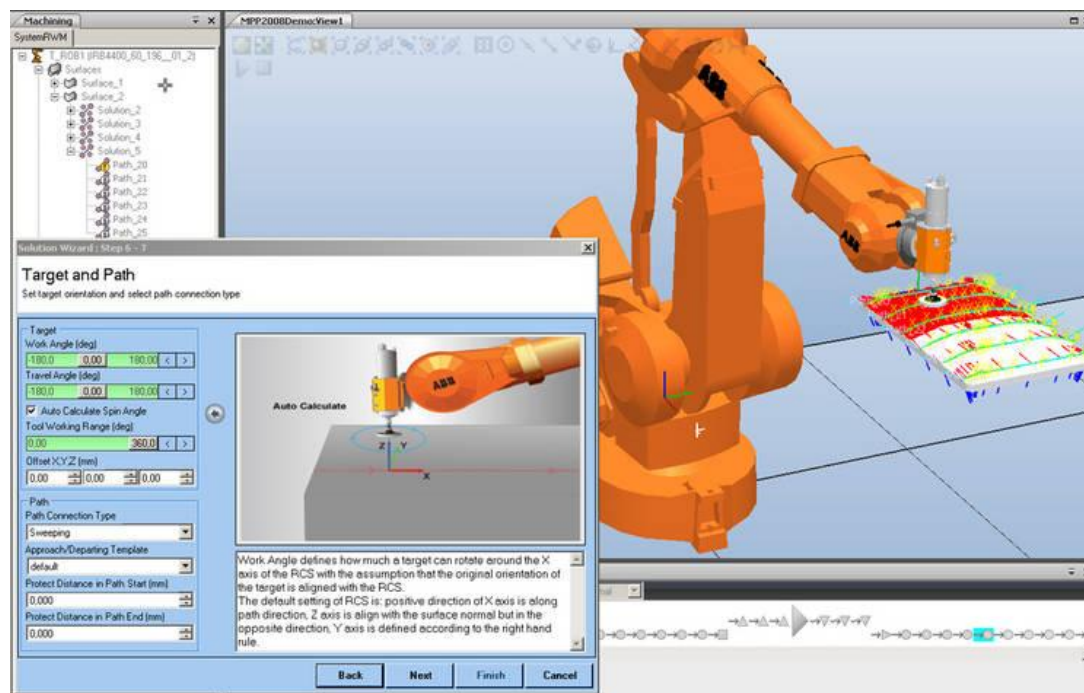
2.3.5 Käyttö

Teollisuusrobottiin kuuluu aina erillinen ohjausyksikkö, jossa robotin laskennallinen työ tapahtuu. Ohjausyksikkö laskee esimerkiksi robotin nivelkulmia ja käyttäjän määrittelemän työkalun paikkaa, 3 –ulotteisessa koordinaatistossa.

Robotin käyttäjä ohjaa robottia joko ohjausyksikköön suoraan liitettyllä käsiohjaimella (**Kuva 9.**) tai etäohjauksena tietokoneella (**Kuva 10.**). Käyttäjää määrittää ohjausyksikön järjestelmään robotin toimintaan liittyvät parametrit ja luo toimintaohjelmia. Ohjelmat sisältävät toisiaan loogisesti seuraavia komentorivejä, jotka pitävät laitteen liikkeessä sen ollessa automaattikäyttötilassa. Muita, käyttäjän määrittämiä parametreja ovat muun muassa konfiguraatiodiedot, koordinaatistomääritykset tai työkalun parametrit. Nämä parametrit voivat olla yleisesti määriteltyjä tai sisältyä yksittäin pääohjelmaan.



Kuva 9. Fanuc –robotin käsiohjin. /20/.



Kuva 10. Robotin etäohjelmointia ABB Robotstudio –tietokoneohjelmalla. /6/.

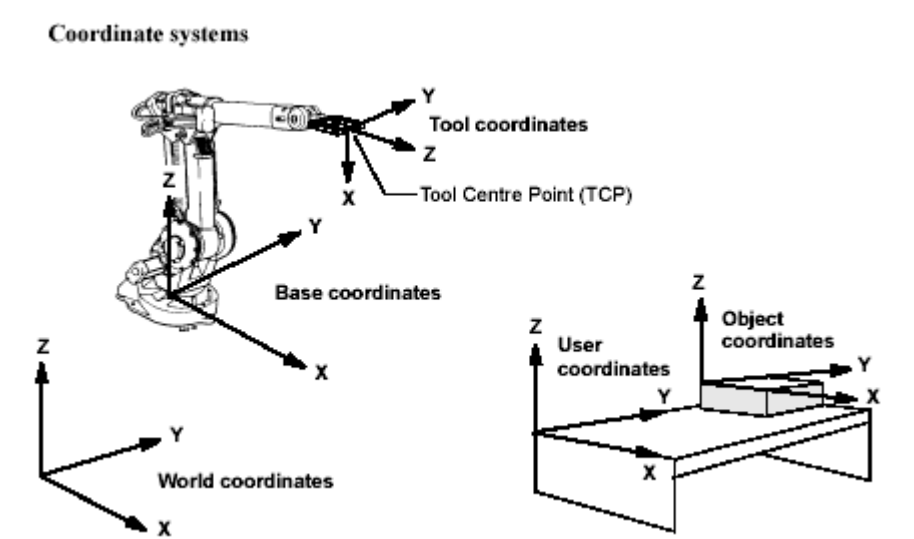
Konfiguraatio tarkoittaa robotin asentoa. Kuten kuvan 11 esimerkkitalanne havainnollistaa, vapaan kinematiikan rakenne robotissa mahdollistaa helposti työkalun saman orientaation, nivelkulmien ollessa erilaisissa asennoissa. Kun luodaan robotin ohjelmaa manuaalisesti käsiohjaimella konetta pisteestä pisteeseen opettamalla, robotin – pisteen määrittäytshetkellä voimassa olevat – konfiguraatitiedot tallentuvat automaattisesti näihin paikoituspisteisiin. Tällaisessa tapauksessa törmäykseen riskialttiin, ei-toivotun konfiguraation mahdollisuutta ei käytännössä ole. Silloin kun robotin ohjelmaa luodaan etäohjauksena tietokoneella, konfiguraatitiedot tulee erikseen tarkistaa ja määrittää.



Kuva 11. Esimerkkitilanne kahdesta robotin konfiguraation vaihtoehdosta, työkalun ollessa kuitenkin täysin samassa asennossa ja pisteessä. /17/.

Robotin käyttäjä antaa robotin järjestelmälle paikkatietoja siis 3 –ulotteisessa koordinaatistossa. Paikkatietojen perusteella, robotti liikuttaa käyttäjän määrittelemää työkalupistettä, käyttäjän määrittelemässä koordinaatistossa. Robotin järjestelmään on esiohjelmoituna kolme eri koordinaatistoa: niin kutsutut maailmankoordinaatisto, peruskoordinaatisto ja työkalukoordinaatisto. **(Kuva 12.)** Maailmankoordinaatiston origo sijaitsee jossakin satunnaisessa – kuitenkin aina samassa – pisteessä, ja toimii järjestelmän omana vertailupohjana muille robotin koordinaatisoille. Peruskoordinaatiston origo on robotin jalustassa ja XY –taso on lattiansuuntainen. Alkuperäinen työkalukoordinaatisto sijaitsee robotin työkalulaipassa (TOOL 0). Työkalulaipan koordinaatiston mukaan robotti laskee mahdollisen työkalun referenssikoordinaatiston (työkalupisteen), jonka käyttäjä määrittää haluamaansa paikkaan, kiinni olevassa työkalussa. Näiden lisäksi voi

käyttäjä mielivaltaisesti määrittää käyttäjäkoordinaatistoja. Käyttäjäkoordinaatistoja määritetään esimerkiksi työskentelytasoihin. /15/.



Kuva 12. Robotin koordinaatistot. /8/.

2.4 Työturvallisuus automaattisessa tuotantosolussa

Kuten teollisuudessa yleensäkin, työkoneita saa käyttää vain sellainen henkilö, joka tietää, mitä on tekemässä. Virallisemmin ilmaistuna: koneita saa käyttää vain koulutettu henkilö. Automaattisesti toimivat koneet saattavat liikkua arvaamattomasti, jonka vuoksi kouluttamaton henkilö ei saa mennä edes tällaisten koneiden lähelle.

Ennen kuin automaattisesti toimiva tuotantosolu otetaan tuotantokäyttöön, sille tulee tehdä tapaturman riskianalyysi. Riskianalyysissä kartoitetaan, mitä voi tapahtua ja arvioidaan tapaturmien todennäköisyys sekä seurausten vakavuus. Kuvan 13 riskianalyysimatriisi on esimerkki yhdestä tavasta määritellä vakavia ja vähemmän vakavia riskejä. Matriisin ”LIKEHOOD” –sarakeissa arvioidaan tapaturman todennäköisyys (A = erittäin epätodennäköinen, E = Normaali, esiintyy säännöllisesti) ja ”CONSEQUENCES” –riveillä arvioidaan tapaturman seurauksen vakavuutta (1. = ei kovin vakava, 5. = erittäin vakava). Matriisista

katsotaan näiden kahden arvion perusteella, minkä väriselle alueelle riski sijoittuu, väri ohjeistaa jatkotoimenpiteistä riskin suhteen (Vihreä: noudata varovaisuutta, Sininen: Noudata erittäin suurta varovaisuutta, Keltainen: Kehitä keinoja riskin pienentämiseksi, Punainen: Työt keskeytettävä ja riskiä pienennettävä).

| | | LIKELIHOOD | | | | | |
|--|---|-----------------------------------|---------------------|--|---|-----------------------------|---------|
| | | A | B | C | D | E | |
| C O N S E Q U E N C E S | | Practically Impossible | Not likely to occur | Could occur or I've heard of it before | It is known to occur or "it has before" | Common or occurs frequently | |
| | 1 | First Aid Injury | Low | Low | Medium | Medium | High |
| | 2 | Medical treatment injury | Low | Medium | Medium | High | Extreme |
| | 3 | Lost Time Injury less than 7 days | Medium | Medium | High | Extreme | Extreme |
| | 4 | LTI > 7 days PTD or fatality | Medium | High | Extreme | Extreme | Extreme |
| | 5 | Multiple PTD or fatalities | High | High | Extreme | Extreme | Extreme |

| | |
|--|---|
| | Low – Monitor and manage |
| | Medium – Monitor and maintain strict measures |
| | High – Review and introduce additional controls to lower the level of risk |
| | Extreme – Do not proceed – Immediately introduce further control measures to lower the risk. Re assess before proceeding |

Kuva 13. Esimerkkikuvaa matriisityyillisestä riskianalyysistä. /21/.

Riskianalyysin perusteella, riskien määrä pyritään karsimaan niin pieneksi kuin se on kohtuuden nimissä mahdollista. Jäljelle jääneiden riskien tapahtumisen todennäköisyys ja seurausten vakavuus pienennetään mahdollisimman pieneksi, joka onnistuu soluun asennettavilla turva- ja suojarusteilla sekä vaaroista varoittavilla ilmoituksilla. Myös vaadittavista käyttäjän käyttämistä suojarusteista tulee olla ilmoitettu näkyvästi.

Riskianalyysissä todettuja, yleisimpiä riskitekijöitä automaattisissa tuotantosoluissa, ovat esimerkiksi sinkoutumisvaara ja puristumisvaara. Nykyään

edellämainitut kaksi riskitekijää minimoidaan hyvin yleisesti samalla kertaa, asentamalla tuotantosoluun fyysinen turva-aita, jonka sisäpuolelle – työkoneiden työskentelyalueelle – ei pääse, koneen ollessa automaattikäytöllä. Jos turva-aidan ovi avataan kesken automaattikäytön, koneet pysähtyvät. Lisäksi turva-aidassa on tiheä verkko tai –pleksi sinkoutumisen suojana (**Kuva 14.**).



Kuva 14. Kilkanen Oy:n Machinery Man –solu RS020, jota ympäröi turva-aitaus.

Automaattisesti toimivissa tuotantosoluissa on myös poikkeuksetta hätäpysäytys –painonappeja, vähintään jokaisen solun toimilaitteen ohjausyksiköissä. Lisäksi hätäpysäytys painikkeita voi olla sijoitettu muualle soluun tai sen ulkopuolelle, solun turvallisuudesta vastaavan suunnittelijan harkinnan mukaan.

3 TYÖN ALKUTILANNE

3.1 Tuote

Tämän opinnäytetyön kohteena olevan tuotantosolun automatisointi sovittiin toteutettavaksi, ulkoisen asiakkaan tilaamien metallisten suojusputkien valmistamiseksi (**Kuva 15.**). Soluun putket tuodaan valmiiksi sahattuina aihioina, joihin sorvataan molempiin päihin erikokoiset viisteet.



Kuva 15. Valmiita suojusputkia.

Robottisolun tuotanto päätettiin suunnitella suojusputkien kolmea tuotevariaatiota varten. Robotin käsittelyn- sekä aihokappalemakasiinin suunnittelun kannalta, oleellisimmat tuotevariaatioiden eroavaisuudet ovat putkien paksuus, joka vaihtelee 35 mm – 55 mm, sekä putkien pituus, joka vaihtelee 590 mm – 625 mm. Putkien tekniset piirustukset ovat opinnäytetyön liitteenä 1.

Muuten suojusputkien variaatiot eroavat toisistaan sorvattavan osansa muodossa, mutta tämä eroavaisuus ei ole tämän työn kannalta oleellista, koska se ei juurikaan vaikuta solun automaation toteutukseen eikä sorvin ohjelman laatiminen kuulu tämän työn aiheeseen.

3.2 Käyttövalmiiksi asennettu robottisol

3.2.1 Lay-out

Tämän työn robottisolun on suunnitellut ja asentanut paikalleen suomalainen teollisuuden työkoneisiin erikoistunut yritys, Machinery Oy. Solun lay-out on siis toimittajan toimesta ennalta suunniteltu mahdollisimman vähän tilaa tehdasympäristöstä vieväksi, mutta silti tarpeeksi tilavaksi sisäpuolelta.

Solun lay-out on melko yksinkertainen, koska soluun kuuluu vain cnc –sorvi, standardimittaiset trukinlavat tuoteaihoille ja valmiille kappaleille, konenäön kameratolppa sekä robotti. Solua ympäröi verkkoaita. Robotin ohjausyksikkö sijaitsee luonnollisesti verkkoaidan ulkopuolella. Solun alkuperäinen, tekninen lay-out –piirustus on opinnäytetyön liitteenä 2.

3.2.2 Robotti

Tuotantosolun robottina on kuvan 16 mukainen, Kawasaki –merkinen, mallia RS20N. Robotin valmistajan ilmoittama käsittelykyky on 20 kg. Kyseessä on siis kiertyvänivelinen, vapaan kinemaattisen rakenteen– ja kuuden vapausasteen omaava teollisuusrobotti. Robotti on ominaisuuksiltaan hyvin tyypillinen ja järkevä valinta tällaiseen käyttötarkoitukseen. /12/.

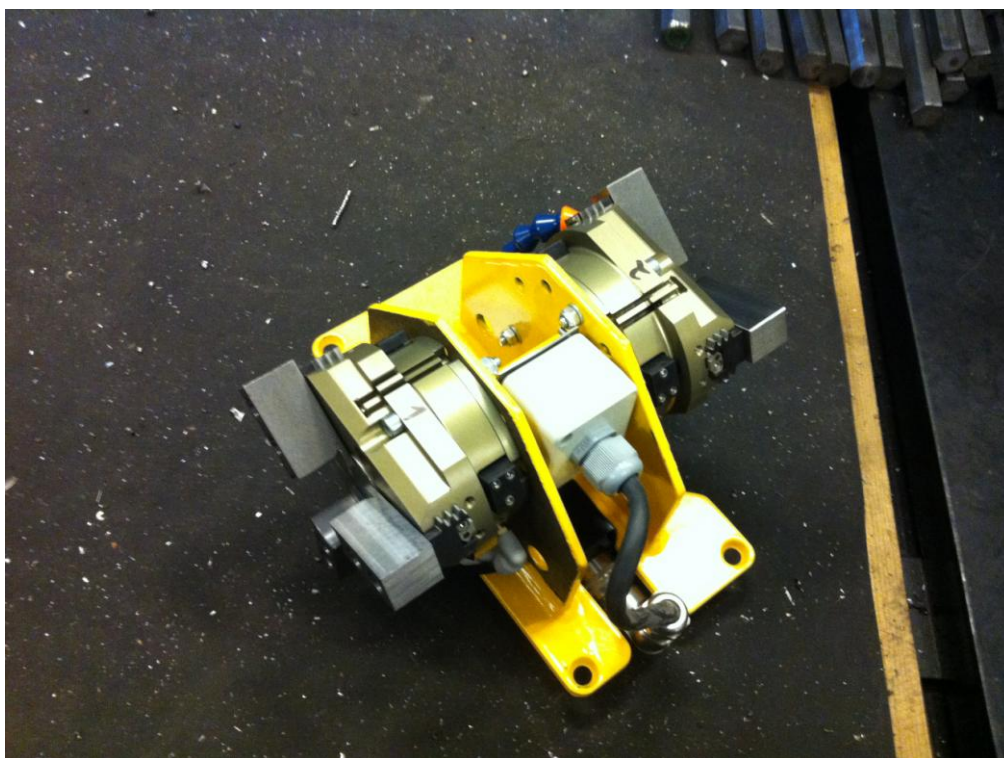


Kuva 16. Kawasaki RS20N –robotti.

Robotti on esiohjelmoitu asennuksen jälkeisen käyttöönottovaiheen yhteydessä niin, että tuotantokäytössä sitä olisi mahdollisimman helppo mukauttaa uusiin toimintakuviioihin tässä solussa, tällä lay-outilla ja näillä varusteilla. Tämä

tarkoittaa sitä, että esimerkiksi tuotteen vaihtuessa, käyttäjän ei tarvitse luoda monimutkaisia ohjelmalogiikoita robotin ohjelmointikielellä, vaan uuden ohjelman luonti tapahtuu – karkeasti määriteltynä – vain robotin käyttöliittymän kysymyksiin vastailemalla. Kysymykset ovat esimerkiksi missä sijaitsee aihiolava, mihin viedään valmiit, mitä kautta aihio viedään sorviin –haetaan sorvista, ym.

Työn alkutilanteessa, robotin työkalu on kuvassa 17 esiintyvä kaksipäinen, kolmesormisten tarrainten yhdistelmä. Robotin työkalulaipassa on lisävarusteena asennettu pikavaihtolaippa, joka mahdollistaa tarvittaessa työkalun automaattisen vaihdon. Pikavaihto –lisävarustepakettiin kuuluu myös robotin vieressä oleva työkaluteline, johon mahtuu kerralla kaksi työkalua sekä työkalussa oleva levy, joka on suunniteltu pitämään työkalu työkalutelineen jigissä (**Kuva 18.**)



Kuva 17. Robotin vanha, kaksipäinen tarrain –työkalu.



Kuva 18. Robotin työkaluteline. Vanha tarrain telineen oikeanpuoleisessa jigissä.

3.2.3 Konenäkö

Robotti on kytkettynä konenäköjärjestelmään, johon kuuluu tietokoneohjattu, pystyssä olevan tolpan päässä oleva kamera, joka ottaa siis kuvia kohteesta ylhäältä alaspäin. Tietokone voidaan määrittää etsimään kameran ottamista kuvista esimerkiksi aihokappalelavalta aihoiden paikkatiedot, jotka kone välittää robotille, joka edelleen osaa näiden paikkatietojen perusteella hakea aihion oikeasta pisteestä.

3.2.4 Sorvi

Solun varsinaisena työkonena on kuvassa 19 esiintyvä, Hyundai-Kia –merkkinen, 2 –akselinen CNC –sorvi mallia SKT-200. Koska tuotantosolu on asennettu yritykseen jo vuoden 2011 alussa, on sorvia ehditty jo käyttämään runsaasti, ilman robottia. Koneen käyttöön siis löytyy yrityksestä osaavaa työvoimaa tarvittaessa. Sorvin ohjelmointi ja vaadittavien asetusten laatiminen ei

kuulu tämän opinnäytetyön aiheeseen, mutta sen sijaan sorviin mahdollisten muutostöiden – suojusputkien tuotannon mahdollistamiseksi – suunnittelu kuuluu.



Kuva 19. Hyundai-Kia SKT200.

3.3 Soluun tarvittavat muutostyöt

3.3.1 Muutostöiden lähtökohtainen periaate

Kun projektin alkutilantenne on kartoitettu, pyrittiin soluun vaadittavien muutostöiden suunnitelmat laatimaan niin, että itse muutoksia tarvitsisi tehdä mahdollisimman vähän ja alkuperäistä, solussa olevaa varustusta, käytettäisiin mahdollisimman laajasti tavoitellussa lopputilanteessa.

3.3.2 Aihiokappalemakasiini

Varsinaista ahiokappalemakasiinia solussa ei siis työn alkutilanteessa ole, vain tuoteaihiolle tarkoitettu trukinlava. Päädyttiin ratkaisuun, jossa suunnitellaan ahiokappaleille käsin täytettävän makasiinin, johon aihioita mahtuisi kerralla mahdollisimman paljon ja josta robotti pystyy mahdollisimman varmasti kappaleita hakemaan sorville koneistettavaksi.

Valmiille kappaleille soveltuu tässä työssä mainiosti alkuperäinen trukinlava – ratkaisu, koska lähtökohtaisesti robotti pystyy viemään valmiit suojusputket siihen tarpeeksi hyvin järjestykseen.

3.3.3 Robotin tarrain

Alkuperäinen robotin tarrain on sen tyyppinen, että sillä pystyttäisiin ottamaan suojusputkesta vain sen päästä kiinni. Putkien maksimipituuksien ollessa 625 mm, vääntövoimaa robotin ranteeseen tulee päästä tartuttaessa, suurella todennäköisyydellä liikaa. Tällainen tartuntatapa vaatii myös paljon tilaa sorvin suuaukolta, joka on tässä tapauksessa ahdas. Lisäksi, kun suojusputkien päät sorvataan, saattavat sorvatut pinnat naarmuuntua jos robotin tarraimella otetaan niistä kiinni. Siispä alkuperäinen tarrain ei sovellu kohdetuotteiden käsittelyyn tarpeeksi varmatoimisesti, joten uuden tarraimen suunnittelu katsottiin parhaaksi ratkaisuksi.

3.3.4 Sorvi

Työn alkutilanteessa, sorvin sisällä on asennettuna lisävarusteena kiinteä karan kärkipylkkä, joka vie huomattavan paljon tilaa. Todettiin, että kärkipylkkä pitää irroittaa, jotta suojusputket mahdutaan viemään sorviin. Tämän työn Kilkanen Oy halusi itse tilata ulkoiselta huoltourakoitsijalta.

4 TYÖN ETENEMINEN

4.1 Suunnittelu

4.1.1 Aihiomakasiini

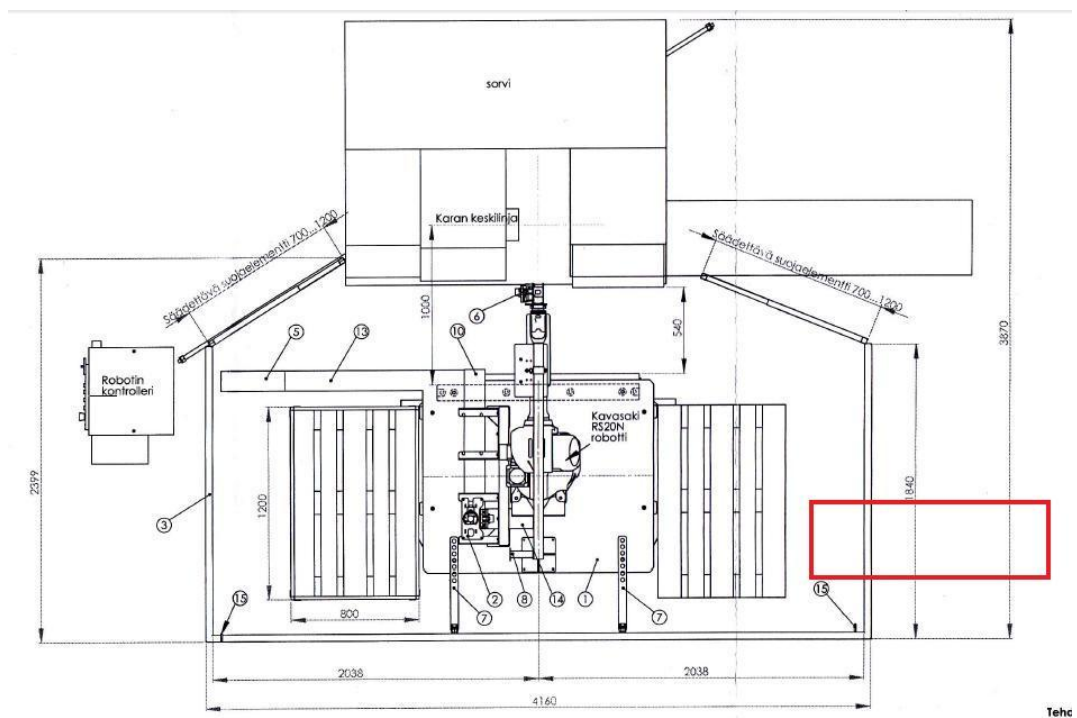
Ennen kuin varsinaisen makasiinin tekninen suunnittelu aloitetaan, pitää päättää, minkä tyyppinen makasiini tulee olemaan. Koska putkiaihiot ovat pyöreäprofiilisia ja pitkäköjä, katsottiin järkevimmäksi makasiinityypiksi liukurata tyyppinen syöttömakasiini, jossa ahiot ovat kaltevalla tasolla jonossa ja pyörivät omalla painollaan tason päässä olevaa stopparia vasten. Robotti hakee siis stopparia vasten olevan jonon ensimmäisen aihion, kaltevan tason alapäädystä. Kun robotti on nostanut aihion pois tasolta, pyörii seuraava aihio stopparia vasten, jonossa edelleen seuraavien aihoiden pyöriessä perässä.

Vaihtoehtoisia makasiinityyppejä olisi ollut ristikkotyypinen makasiini, johon ahiot aseteltaisiin pystyyn matriisikuviioon, tai pelkkä trukinlava, jossa ahiot olisivat yksinkertaisesti ladottuna kallellaan. Näistä vaihtoehdoista kuitenkin päätettiin luopua, koska niitä ei olisi saatu mahtumaan tarpeeksi aihioita kerralla tai varmatoimisuudessa olisi liikaa riskitekijöitä.

Kun makasiinin tyyppi on päätetty, tarvitsee sille suunnitella järkevin paikka ja asento itse solussa. Makasiini katsottiin parhaaksi asentaa solun toiseen reunaan kulkemaan verkkoaidan läpi niin, että täyttö tapahtuu aitauksen ulkopuolelta ja tasojen alapäädyt jäävät luonnollisesti aitauksen sisäpuolella. Tällä tavoin tasolle saadaan runsaasti pituutta, jotta makasiiniin mahtuu enemmän aihioita. Tällöin makasiini ei myöskään vie liikaa ylimääräistä tilaa aitauksen sisäpuolelta ja robotti mahtuu varmasti siellä työskentelemään. Kuvassa 20 punaiset nuolet osoittavat makasiinin suuntaa aidan läpi ja kuvan 21 lay-out -kuvassa punainen suorakaide hahmottaa makasiinin suunniteltua paikkaa.



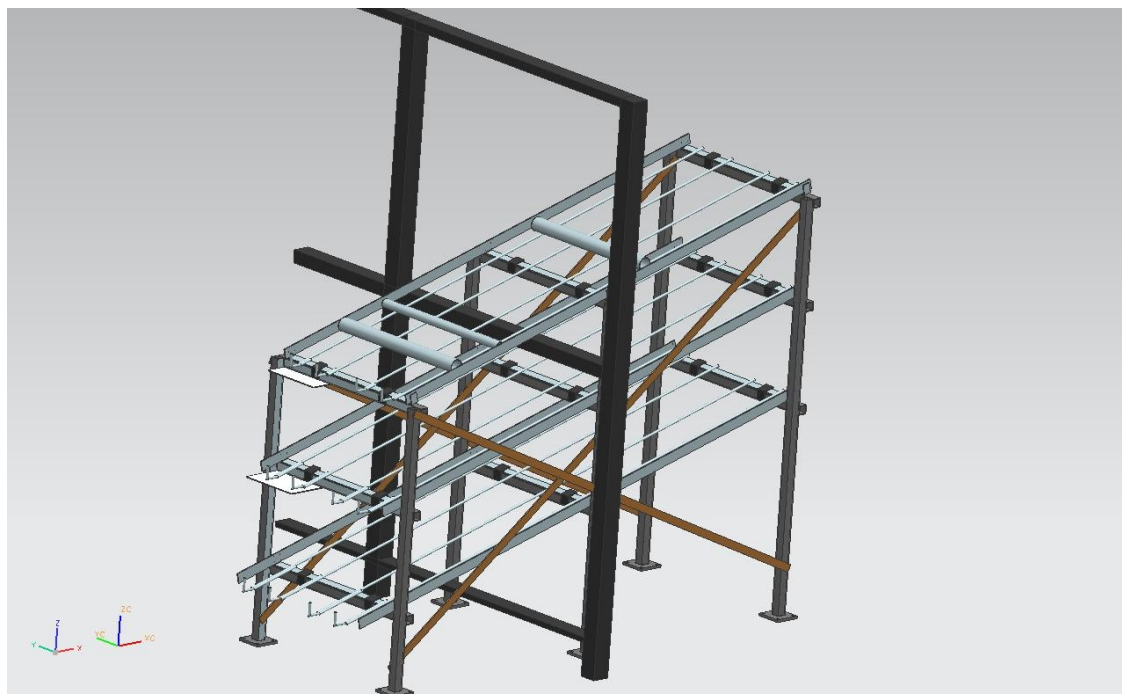
Kuva 20. Makasiinin suunta ja paikka.



Kuva 21. Makasiinin paikka ylhäältäpäin alkuperäisessä solun lay-out –kuvassa.
/16/.

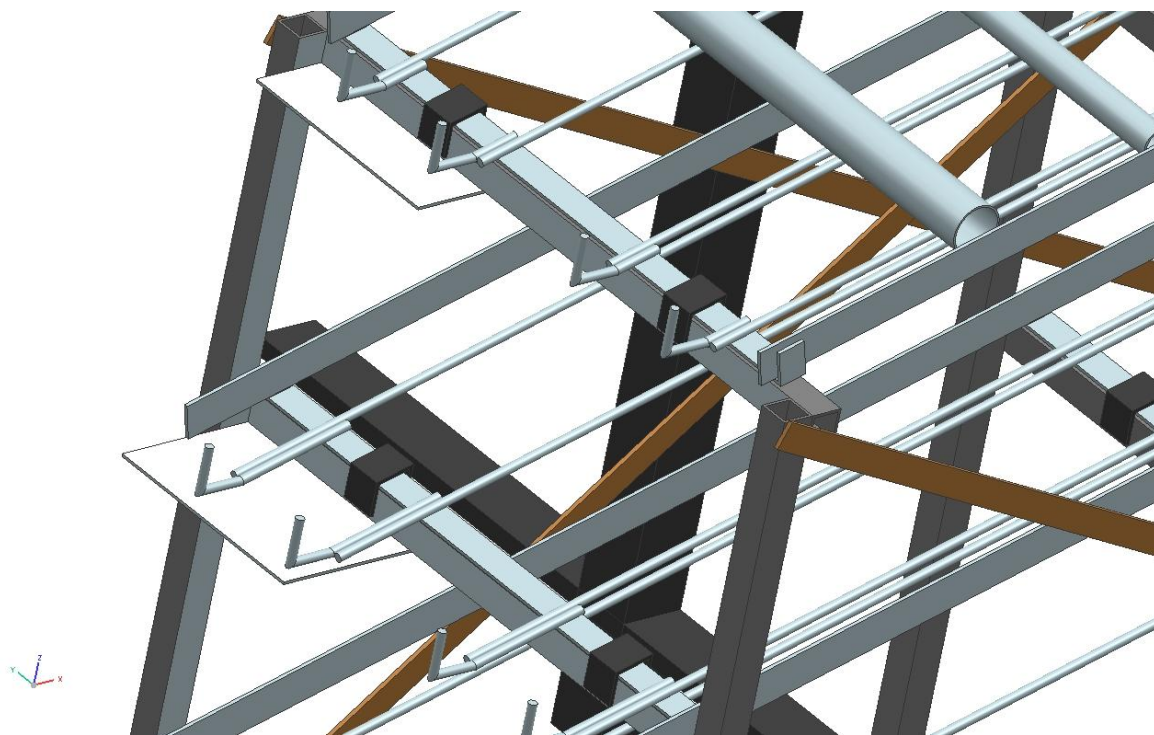
Aihiomakasiinin toimintaperiaatteen ja paikan selvittämisen jälkeen, suunnitellaan makasiinin tekninen rakenne. Makasiinin suunnittelussa käytettiin työkaluna, Siemensin NX 6.0 –ohjelmistoa. NX:llä kyetään luomaan tietokoneella suunniteltavasta kohteesta 3D –malli, josta käy ilmi valmistukseen vaadittavat tekniset mitta- ja muototiedot.

Makasiinin teknisessä suunnitelmassa päädyttiin ratkaisuun, jossa makasiiniin tehdään yhteensä kolme lastaustasoa. Näin aihioita saadaan yhdellä täytöllä kolme kertaa enemmän, verrattuna yhteen lastaustasoon. Tasojen pituudet mitoitettiin niin, että paksumpia, 55 mm putkiaihioita, mahtuu makasiiniin yhteensä noin 120 kpl, joten suurimman valmistuseräkoon ollessa 200 kpl, makasiini tarvitsee täyttää vain kaksi kertaa. Kuvassa 22, kuvakaappaus aihiomakasiinin 3D –mallista. Kuvassa musta palkki havainnollistaa solun verkkoaitaa. Kuvan makasiinin mallissa myös valmistuksen kohdetuotteina olevat, kolme erilaista putkiaihiota mallinnettuna (ylimmällä tasolla).

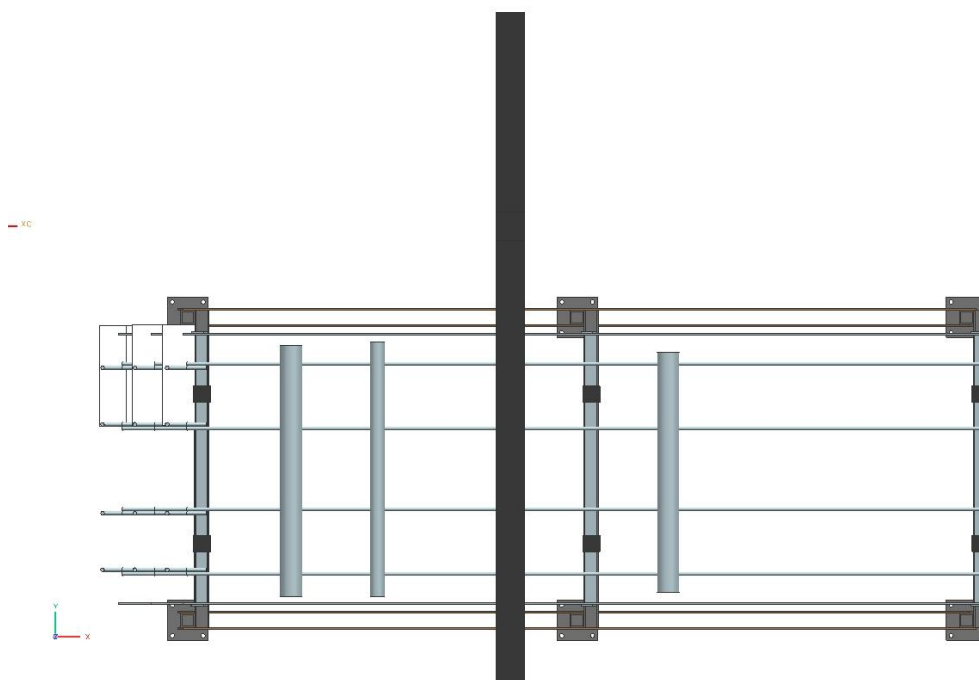


Kuva 22. Kuvakaappaus aihiomakasiinin 3D –mallista.

Makasiinin lastaustasojen leveydet suunniteltiin niin, että pisimmillä putkiaihoilla (625 mm) on hieman liikkumavaraa sivuttaissuunnassa, jotta kiilautumisvaara saataisiin pienemmäksi. Tasojen kaltevuus päätettiin asettaa 15 –asteeseen. Tämä kaltevuus on kohtalaisen suuri, jotta – painovoiman avulla – aihoiden kiilautumisvaara pienenesi entisestään ja lyhimmät ahiot (590 mm) – jotka ovat siis reilusti lyhempiä, kuin tasojen leveys on – pysyisivät mahdollisimman hyvin linjassaan. Lastaustasot mitoitettiin eripituisiksi siksi, että tasojen alapäädyt olisivat eri pisteissä ylhäältä päin tarkastellessa (**Kuvat 23. ja 24.** Kuvassa näkyy selkeästi kaikkien tasojen pituuserot sekä pelivara tasojen leveydessä, aihion pituuksien suhteen). Tämä siksi, että mahdollinen konenäköratkaisu näkisi ylhäältäpäin kuvaa ottaessaan jokaisen tason alapäädyt.



Kuva 23. Kuvakaappaus ahiomakasiinin 3D –mallista. Kuvassa tasojen 1.- ja 2. alapäädyt.

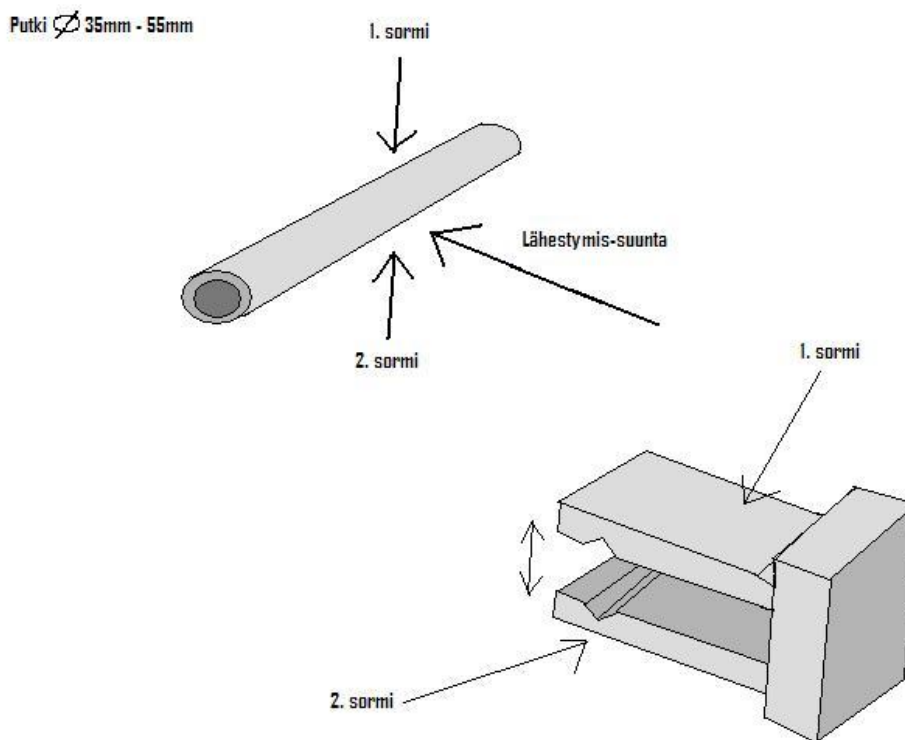


Kuva 24. Kuvakaappaus ahiomakasiinin 3D –mallista ylhäältäpäin.

Kaikkien makasiinin osien valmistusmateriaalit ovat rakenneterästä. Runkoelementteinä olevat osat suunniteltiin tehtäväksi – tarkoituksella hieman liioitellunkin – jyvävästä palkista, koska mitä raskaampi kokonaisuudesta tulee, sitä vakaampi se on käytössä. Suunnitelmassa on myös jalkalaidat runkotolppien alapäissä, jotta makasiinin lattiaan kiinnittäminen olisi mahdollista. Vakaus ja lattiaan kiinnitys ovat oleellinen ominaisuus tällaisessa makasiinissa, koska makasiini ei luonnollisesti saa liikkua käytössä lainkaan ja mahdollinen värinä saattaa sekoittaa putkiaihioiden järjestystä tasoilla.

4.1.2 Robotin tarrain

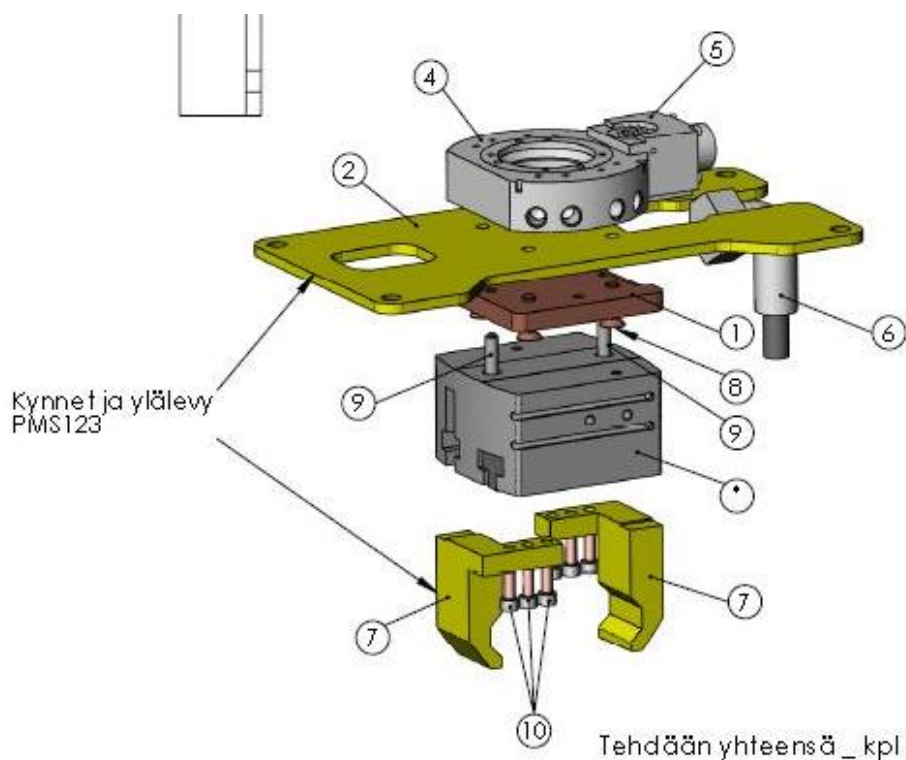
Robotin uusi tarraintyyppe oli melko selvä jo projektin alusta alkaen. Sen tulisi olla 2 –sorminen pihtitarrain, jossa tartuntapinnassa olisi V –ura, putken pyöreää profiilia varten. V –uran tulisi olla mittasuhteiltaan sellainen, että tarraimella saataisiin tukeva ote, halkaisijoiltaan sekä 35 mm-, että 55 mm putkesta.



Kuva 25. Taiteilijan näkemys uudesta tarraimesta ja sen toiminnasta, ennen teknisiä suunnitelmia.

Uusi tarrain tilattiin robottisolun alkuperäisen käyttöönoton suunnitelmasta vastanneelle yritykseltä. Tarraimen mahdollisia muita toimittajia ei päätetty alkaa kilpailuttamaan, koska kyseisellä yrityksellä on valmiiksi tarkat tekniset tiedon koko solusta, mukaanlukien robotista ja tieto siitä, millainen tarrain siihen on mahdollista saada – ja millä ominaisuuksilla. Yritys laati tekniset suunnitelmat uudesta tarraimesta, heille toimittamieni vaatimusten mukaisesti. Vaatimuksiin kuului tieto siitä, että millaisia kappaleita uudella tarraimella tulee kyetä käsittelemään, sekä siitä, että minkätyyppinen tarraimen tulee olla. Tässä tapauksessa tyyppin tuli olla siis mahdollisimman kapea 2 –sorminen pihtitarrain, jossa sormet ovat mahdollisimman kapeat (jotta putken haku makasiinista olisi mahdollisimman joustavaa) ja liikkuvat suoraan toisiaan kohtisuoraan ja käsiteltävät kappaleet ovat halkaisijaltaan 35 – 55 mm ja pituuksiltaan 590 – 625 mm teräsputkia, jotka painavat enintään 5 kg. Hahmotelma tarraimen käytöstä ja toimintaperiaatteesta kuvassa 25. Lisäksi tilaukseen kuului, että tarraimen

asennetaan lisävarusteena pikavaihto –optio, koska robotissakin on tämä valmiina. Kuvassa 26 pikavaihtolaippa on osanumerolla 4. ja siihen liittyvä levy – joka mahdollistaa tarraimen viennin työkalutelineeseen – osanumerolla 2. Kun näiden tietojen pohjalta laaditut suunnitelmat hyväksyttiin, he valmistivat tarraimen ja toimittivat sen Kilkanen Oy:lle.



Kuva 26. Uuden tarraimen kokoonpanokuva.

Uusi tarrain on siis kuvan 26 mukainen. Tarraimella kyetään käsittelemään yhtäläillä kaikkia kolmea tuotevariaatiota. Tarraimessa on lisäksi raja-anturit kiinni- ja auki asentoihin, joten se saadaan halutessa tunnistamaan, että onko käsiteltävä kappale hallussa. Uuden tarraimen tekniset piirustukset kokonaisuudessaan, ovat opinnäytetyön liitteenä 3.

4.2 Toteutus

4.2.1 Aihiomakasiini

Aihiomakasiinin valmistuksen päätettiin teettää, Kilkanen Oy:n kanssa yhteistyötä tekevällä metallialan yrityksellä. Kun aihiomakasiinin 3D -malli oli valmis, yritykselle toimitettiin makasiinin mallin perusteella osaluettelo, johon kuului makasiinin kaikkien osien muoto- ja mittatiedot. Kun osat valmistuivat, yrityksestä saapui työvoimaa myös paikanpäälle Kilkaselle, avustamaan makasiinin kokoonpanotöissä. Kokoonpanotyöt sujuivat jouhevasti, koska osat ja kiinnitykset olivat suunniteltu jo tietokonehallissa etukäteen. Aihiomakasiini koottuna ja asennettuna lopulliseen paikkaansa kuvissa 27 ja 28.



Kuva 27. Uusi aihiomakasiini koottuna ja asennettuna paikalleen.



Kuva 28. Uusi aihiomakasiini koottuna ja asennettuna paikalleen.

Makasiinin runkomateriaaleina käytetyn raskaan raudan ja lattiaan kiinnittämisen ansiosta, valmiista makasiinista tuli erittäin tukeva. Putkiaihiot käyttäytyvät mäissä juuri niin kuin pitää ja mittasuhteet ovat kohdillaan.

4.2.2 Robotin tarrain

Kun robotin uusi tarrain saapui Kilkaselle, piti sen asetukset määrittää robotille. Asetukset päätettiin määrittää vanhan työkalun asetusten päälle. Tähän ratkaisuun päädyttiin ensinnäkin siksi, että jos vanha työkalu olisi päätetty pitää muistissa, olisi uusi työkalu pitänyt määrittää työkaluksi 2. Koska robotti on esiohjelmoitu suhteellisen laajasti ja kaikissa esiohjelmoituissa tiedossa on ohjelmien työkaluksi määritelty työkalu numero 1, olisi kaikista esiohjelmoituista tiedoista pitänyt vaihtaa määrittäykset koskemaan työkalua numero 2 ja siinä olisi ollut melkoisesti työtä. Toiseksi robotin vanhalla tarttujalla ei näillä näkymin tulla tekemään töitä – ainakaan hyvin pitkään aikaan – ei sen asetusten säilyttämisellä katsottu olevan tässä vaiheessa oleellista merkitystä.

Tässä robottimallissa, työkalusta lähtee tunnistussignaali robotille, joka tämän signaalin perusteella varmistaa, että kiinni oleva työkalu on sama kuin ohjausyksikön mukaan käytössä oleva työkalu. Uuden tarttujan valmistuksessa on oletettu, että työkalu määritellään työkalupaikkaan 2, joten tarraimen tunnistussignaali oli kytketty sen mukaisesti. Uuden tarraimen kytkentä piti siis muuttaa tarraimen kytkentärasiasa työkalun 1 mukaiseksi, jotta robotti hyväksyisi häiriöttä tarraimen sen kiinnityksen jälkeen. Uusi tarrain käyttövalmiina, robottiin kiinnitettynä, kuvassa 29.



Kuva 29. Uusi tarrain robotissa asennettuna.

4.3 Robotin automaattikäytön suunnittelu

4.3.1 Ohjelman rakenne ja periaate

Koska tämän opinnäytetyön kaikki aikaisemmat suunnitelmat ovat perustuneet solun automaattikäytön mahdollistamiseksi, on automaattisten toimintojen järjestelmä tässä vaiheessa jo melko selvä. Automaattiohjelma voidaan jakaa neljään päävaiheeseen, jotka vaativat suunnittelua ennen kuin varsinainen ohjelma voidaan laatia. Automaattiohjelman päävaiheet järjestyksessä:

- 1 Kappaleaihion haku makasiinista (**Kuvat 30. ja 31.**).
- 2 Kappaleaihion vienti ja asettelu sorviin (**Kuvat 32. – 34.**).
- 3 Kappaleaihion kääntö sekä uudelleenvienti ja –asettelu sorviin.
- 4 Valmiin kappaleen vienti trukinlavalle.

Kaikkia vaiheita on testattu robotin käsiajolla niin, että niiden tiedetään olevan fyysisesti mahdollista toteuttaa. Toiminnan testausta vaativia riskitekijöitä ovat olleet robotin tarraimen käsittelykyky, aihiojonon käyttäytyminen makasiinissa, kun robotti hakee jonon ensimmäisen aihion ja kappaletta sorviin vietäessä, sorvin ahdas koko.



Kuva 30. Vaihe 1 – Robotti hakee kappaletta makasiinista.

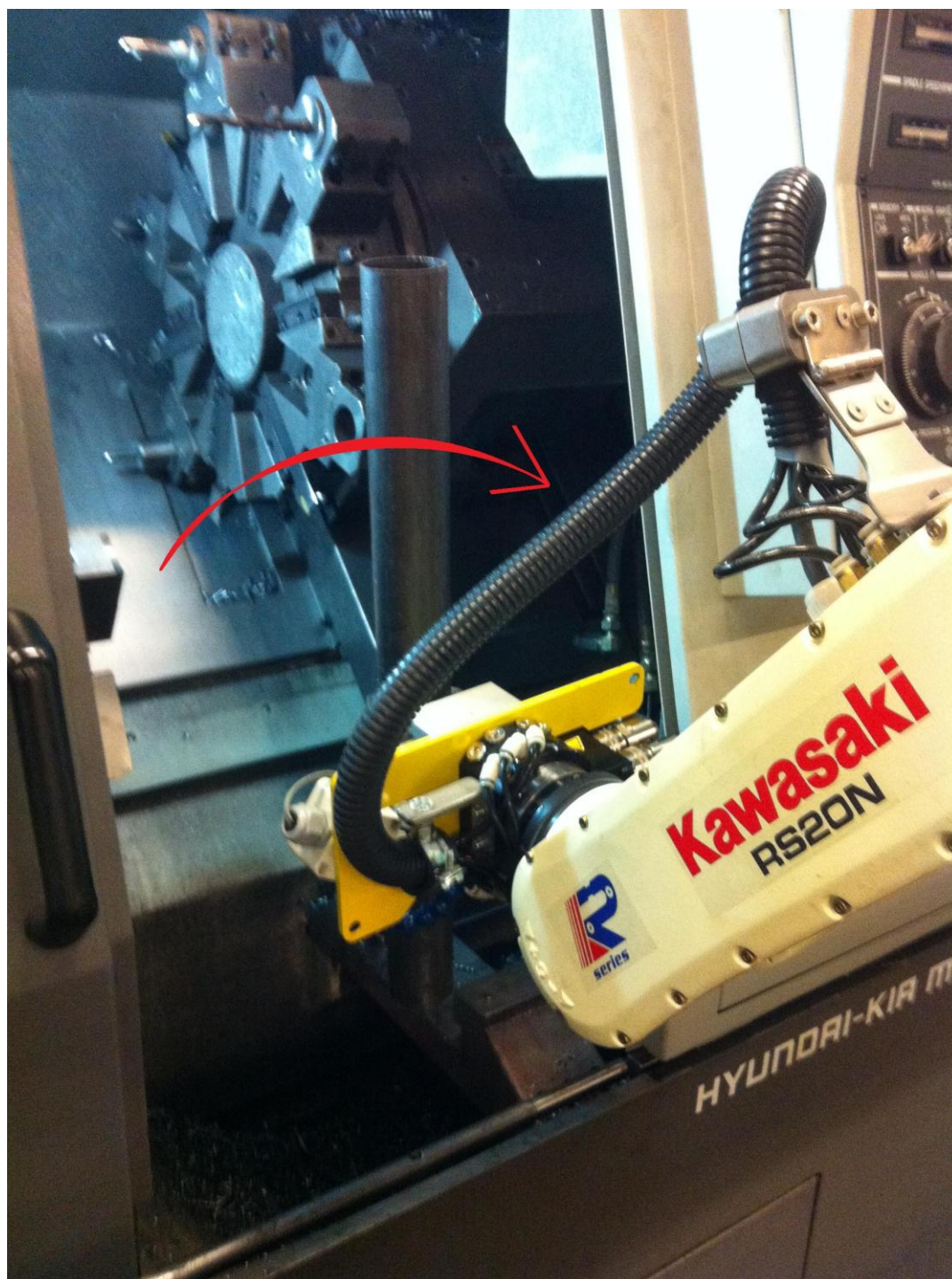


Kuva 31. Vaihe 1 – Robotti hakee kappaletta makasiinista.

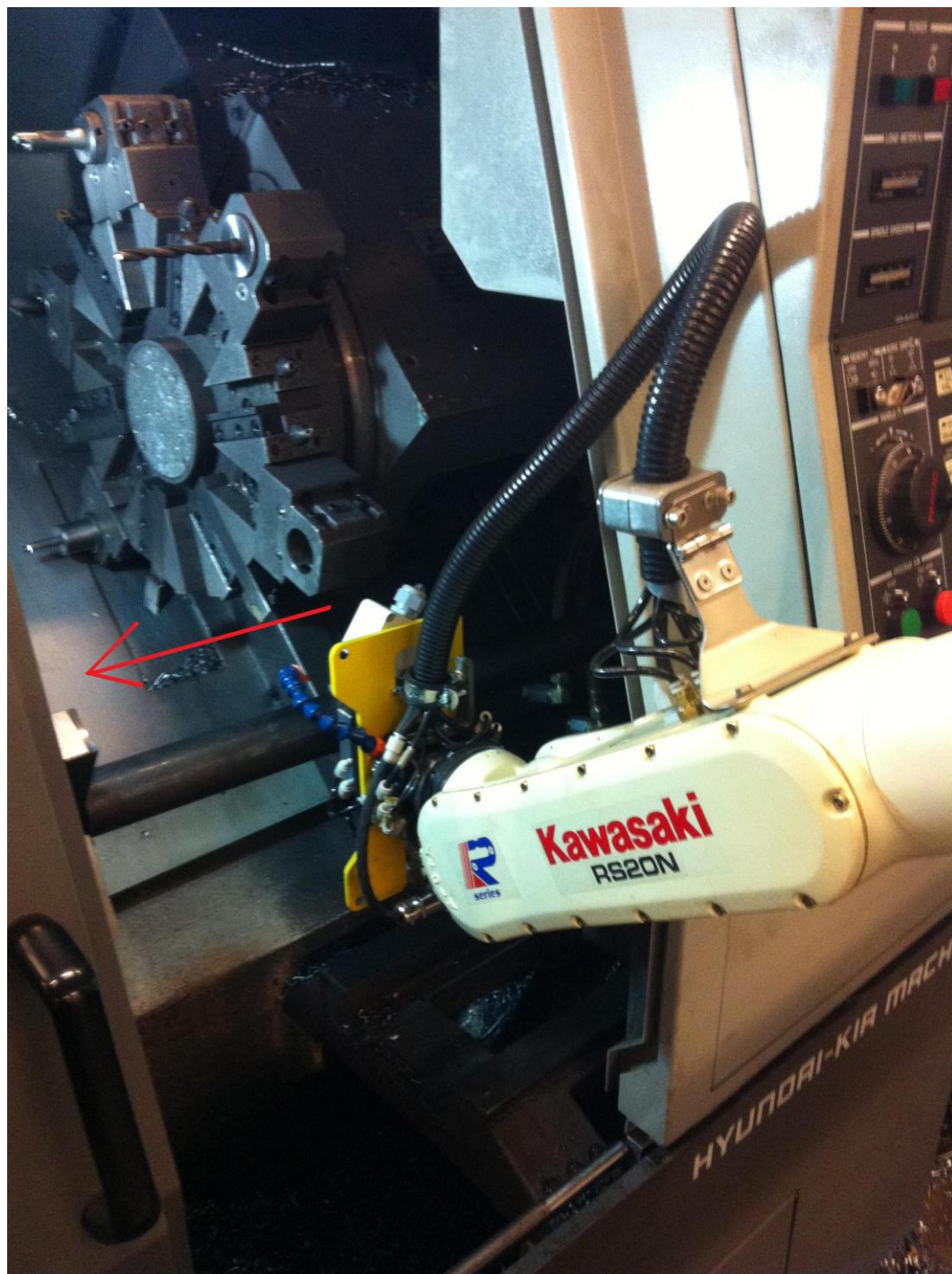
Koska vaiheessa 1 aihioita voidaan hakea makasiinista kolmelta eri tasolta, pitää robotin osata päättää, miltä tasolta haetaan seuraava aihio. Tämän vuoksi robotin ohjelmaan pitää järjestää hakupaikat hakujärjestykseen. Järjestäminen toimii käytännössä niin, että hakupaikat numeroidaan ja robotti hakee numerioinnin perusteella tasoilta aihion. Esimerkkejä menettelystä erilaisissa tilanteissa:

- Jos kaikki tasot ovat täynnä, haetaan tasolta 1.
- Jos kaikki tasot ovat tyhjiä, robotti pysähtyy odottamaan kuittausta siitä, että tasoille on lisätty kappaleita.
- Jos taso 1. on tyhjä, haetaan tasolta 2.
- Jos taso 1. ja 2. ovat tyhjiä, haetaan tasolta 3.
- Jos taso 2. on tyhjä, mutta tasoilla 1. ja 3. on kappale, haetaan tasolta 1.

Makasiinilta aihiota haettaessa, pitää robotin tunnistaa, millä tasoilla on aihio tai onko aihioita millään tasolla. Tunnistukseen on kaksi vaihtoehtoa: konenäkö tai tarraimen anturit. Tarraimen antureilla tunnistettaessa, robotti siis huomaa, jos tarrain on tyhjä sen sulkeutuessa. Tässä tilanteessa, robotti siirtyy automaattisesti seuraavaan hakupisteeseen.

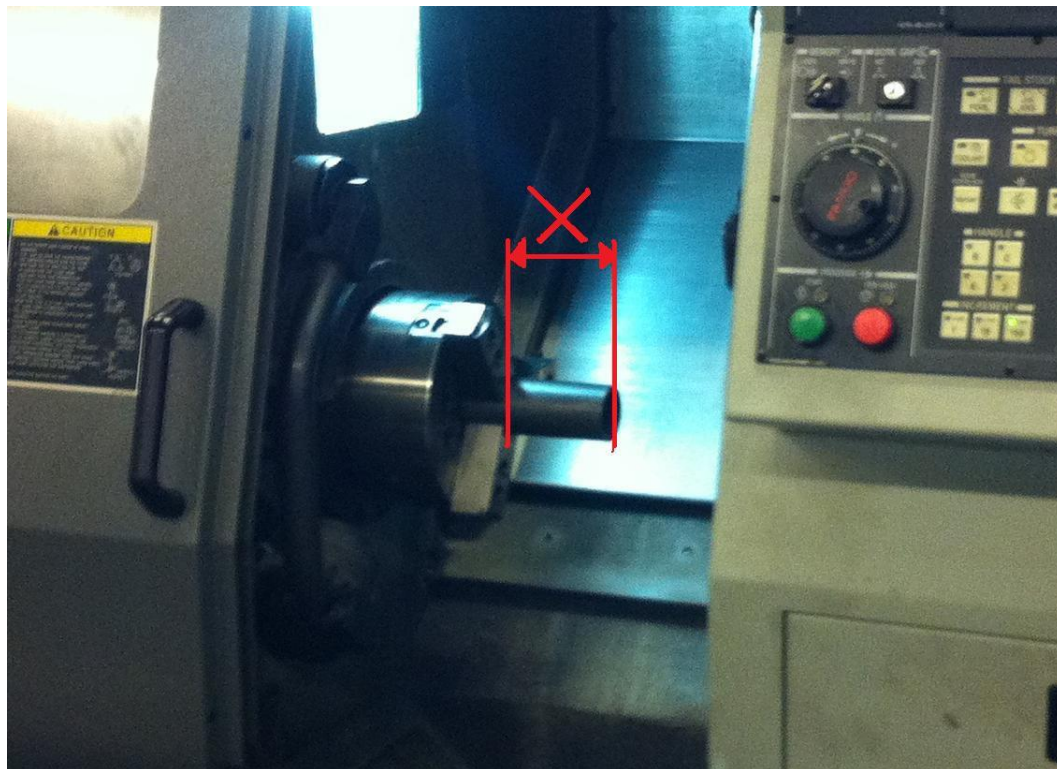


Kuva 32. Vaihe 2 – Aihion vientiä sorviin.



Kuva 33. Vaihe 2 – Aihion vientiä sorviin.

Vaiheessa 2, kun robotti vie aihion sorviin, on aihio saatava paikoitettua sorvin puristimeen niin, että ahioputken sorvattava pääty on juuri oikealla etäisyydellä puristimesta. Kuvassa 34 etäisyys on merkittynä X:llä. Etäisyyden tulee olla tarkka siitä syystä, että päädyn sorvattavasta muodosta tulisi oikeanlainen.



Kuva 34. Putkiaihion pituusakselin suuntainen kriittinen mitta X, sorviin paikoitettaessa.

Vaiheessa 3, robotti ottaa putkiaihion puristimesta, vie sen sorvin ulkopuolelle, kääntää aihion ja vie sen takaisin sorviin toisen päädyn sorvaukseen. Tässä työvaiheessa pätee sama sääntö, kuin vaiheessa 2 – eli putken pääty tulee saada oikealle etäisyydelle puristimesta. Tällä kiinnityksellä sorvataan putki myös lopulliseen pituuteensa, jonka toleranssi on jokaisella putkella +/- 0.8 mm. Kuvassa 34 esiintyvän paikkamitan X vähimmäistarkkuuden tulee siis olla alle 0.8 mm.

Vaiheessa 4, robotti ottaa valmiin putken sorvista ja vie sen trukinlavalle, joka on paikoitettu – ahiomakasiiniin nähden – robotin toiselle puolelle. Trukinlavan paikka tulee siis merkitä lattiaan tarkasti, jotta se saadaan aina samaan kohtaan lavanvaihdon yhteydessä.

Riippumatta siitä, kuinka robotin automaattikäyttö toteutetaan, ovat ylläluetellut ehdot ja vaiheet voimassa joka tilanteessa. Automaattikäytön toteutukseen on kolme, hieman erilaista vaihtoehtoista tapaa. Vaihtoehdot eroavat toisistaan merkittävimmin sen osalta, kuinka aihio paikoitetaan sorvin puristimeen työvaiheessa 2. Vaihtoehdot ovat kuvailtu seuraavissa kappaleissa.

4.3.2 Toteutuksen vaihtoehto 1.

Ensimmäinen vaihtoehto robotin automaattikäytön toteutukseen, on käyttää konenäköä. Tässä menetelmässä konenäkö ottaa kuvan ahiomakasiinin tasojen kärjistä (vaiheessa 1) ennen, kuin robotti hakee makasiinista aihion. Tällöin robotin ohjausyksikölle menee kaksi oleellista tietoa: millä tasoilla on aihioita sekä miten ahiot ovat pituussuunnassaan paikoittuneet hakupisteisiin. Tässä menetelmässä robotti tietää siis heti mennä hakemaan aihiota oikealta tasolta. Robotin tartuntapiste ahiosta – suhteessa aihion päätyyn – saadaan myös jokaiselle hakukerralle ohjelmoitua vakioksi (koska konenäkö antaa sille jokaisella hakukerralla, seuraavan aihion päädyn tarkan paikkatiedon).

Kun jo vaiheessa 1 tiedetään tarkalleen, mistä kohtaa aihiota pidetään kiinni, helpottuu vaiheen 2 toteutus. Robotti tietää tällöin, kuinka pitkälle aihiota pitää karaputkeen työntää, jotta etäisyys puristimen ja aihion päädyn välillä on oikea.

Aihiota käännettäessä, vaiheessa 3 täytyy robotin löytää kappaleesta uusi tartuntapiste, joka on tarkan etäisyyden päässä seuraavaksi sorvattavasta päädyistä. Tämä toteutetaan niin, että robotti asettaa aihion pystyasentoon – äsken sorvattu pääty alaspäin – tasaiselle alustalle, irroittaa otteensa ja siirtää tarttujan määrätyn mitan päähän alustasta. Näin robotilla on taas tarkka tieto siitä, mistä kohtaa aihiota se pitää kiinni. Aihio viedään uudelleen sorviin samoin, kuten vaiheessa 2.

Vaiheessa 4, valmiin putken siirto sorvista trukinlavalle on melko yksinkertainen. Robotin ohjelmaan pitää määrittää muuttuja, joka saa automaattisesti uuden arvon jokaisen viedyn putken jälkeen. Muuttujan mukaan robotin ohjelma laskee jokaiselle seuraavalle työkierrolle uuden pisteen, johon se käy viemässä seuraavan valmiin putken. Näin valmiit putket saadaan siistiin järjestykseen trukinlavalle. Kun trukinlava täyttyy ja se vaihdetaan uuteen, koneen käyttäjä kuittaa robotille lavan vaihdetuksi ja muuttujan arvo nollaantuu.

4.3.3 Toteutuksen vaihtoehto 2.

Automaattikäytön toteutukseen, toinen vaihtoehto on jättää konenäkö kokonaan toteutuksesta pois ja käyttää aihion tarvittavien paikoitustietojen saamiseksi, robotin soft absorber –toimintoa. Käytännössä soft absorber tarkoittaa robotin käsivarren voima–anturointia. Tämä toiminto mahdollistaa sen, että robotilla voidaan törmätä hallitusti estettä päin, ilman että siitä aiheutuu robotille häiriötila.

Tässä toteutusvaihtoehdossa, robotin hakiessa ahiota makasiinista vaiheessa 1, se käy makasiinin tasoilla järjestyksessä kokeilemassa, että onko tasolla ahiota. Tämä on mahdollista, koska robotin uusi tarrain on anturoitu niin, että se tunnistaa sulkeutuessaan onko kappale hallussa vai ei. Jos tasolla on aihio, robotti ottaa sen, jos tasolla ei ole ahiota, robotti siirtyy kokeilemaan seuraavalle tasolle ja niin edelleen. Jos jokin taso on todettu tyhjäksi, jää siitä tieto robotin ohjelmaan, eikä robotti sen jälkeen enää turhaan mene kokeilemaan sille tasolle, ennen kuin koneen käyttäjä on kuitannut makasiinin täytetyksi (jolloin tieto nollaantuu). Robotille ohjelmoidaan, kullekin tasolle vain yksi paikkatieto, jossa se tarttuu ahiosta. Tartuntapiste aihion suhteen muuttuu siis jokaisella työkierrolla, koska ahiot pääsevät liikkumaan makasiinissa vapaasti pituusakselinsa suuntaisesti.

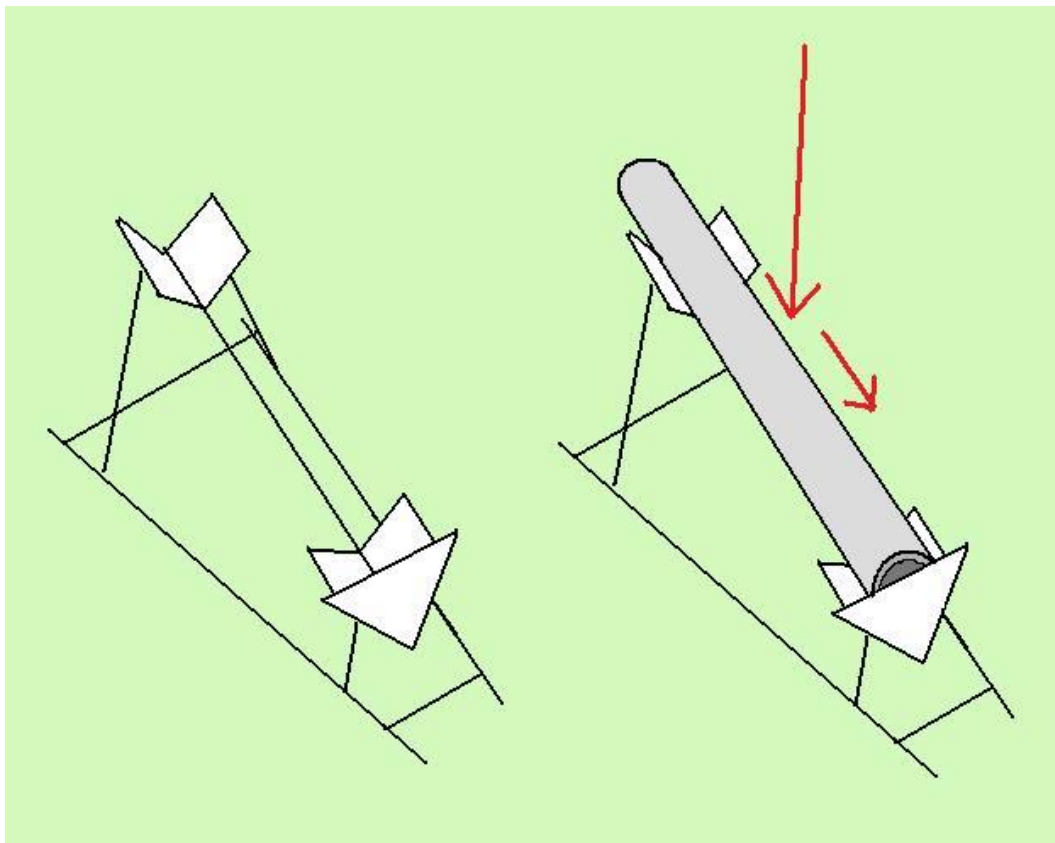
Siirryttäessä vaiheeseen 2, robotilla ei siis ole vielä tietoa siitä, mistä kohdasta ahiota se pitää kiinni. Aihion tarkka asema sorvin puristimessa haetaan käyttämällä robotin soft absorber –toimintoa: kun robotti vie aihion puristimeen, se työntää aihion reilusti syvemmälle karaputkeen, kuin lopullisessa kiinnityksessä. Sen jälkeen sorvi siirtää työkalurevolverin, aihion eteen määrättyyn paikkaan (esimerkiksi sorvausohjelman 0 –piste). Tässä vaiheessa

revolveri toimii ikään kuin aihion stopparina ja robotti vetää aihion sorvattavan päädyn revolveria päin. Näin aihio saadaan paikoitettua puristimeen mekaanisesti. Kuvan 34 mitta X ei siis ole robotilla missään vaiheessa tiedossa, mutta soft absorber –toiminto mahdollistaa sen, että robotin vetoliike voidaan ohjelmoida jatkumaan niin kauan, kunnes aihion pääty törmää revolveriin.

Ohjelman työvaiheet 3 ja 4 toteutetaan samoin, kuin toteutuksen vaihtoehdossa 1.

4.3.4 Toteutuksen vaihtoehto 3.

Kolmannessa toteutuksen vaihtoehdossa, käytetään kappaleen paikkatietojen hakemiseksi väliaseman jigiiä. Tässä toteutuksen vaihtoehdossa haetaan aihio makasiinista työvaiheessa 1 samoin, kuin vaihtoehdossa 2. Työvaiheen 2 alussa, robotti vie aihion väliasemaan jigiiin, ennen kuin aihio viedään sorviin. Jigi rakennetaan nimenomaan tämän työn putkiaihioille. Kun robotti vie aihion jigiiin, se paikoittuu joka kerta samaan asemaan jigissä (kuten esimerkiksi kuvassa 35), vaikka robotti veisikin aihion siihen epätarkasti. Koska aihio on jigissä aina samassa asemassa, voidaan robotille määrittää jigiiin vakio tartuntapiste, josta tartuttaessa robotilla on näin siis tieto siitä, missä kohtaa kappaletta tartuntapiste on. Näinollen robotti kykenee jatkamaan työvaiheen 2 loppuun, kuten toteutuksen vaihtoehdossa 1.



Kuva 35. Esimerkki mahdollisesta jigiratkaisusta ja sen toimintaperiaatteesta.

Työvaiheet 3 ja 4 tehdään muutoin samoin, kuin edellisissä toteutuksen vaihtoehdoissa, mutta jos automaattikäytön toteutus tehdään tämän vaihtoehdon mukaisesti, niin työvaiheessa 3 uuden tartuntapisteen hakeminen aihioista, tehdään jigissä, ei tasaista alustaa vasten.

4.3.5 Toteutuksen vaihtoehtojen vertailu

Tässä tapauksessa, paras vaihtoehto toteutukseen löytyy kokeilemalla vaihtoehtoja käytännössä, mutta vertailua voidaan tehdä jo suunnitelmien perusteella jonkin verran, jo tiedettävien tosiseikkojen perusteella.

Vaihtoehtoista yksinkertaisin toteuttaa on vaihtoehdon 1. konenäköratkaisu. Tässä vaihtoehdossa ei tarvitse rakentaa mitään lisää ja työvaiheet pysyvät kohtuullisen yksinkertaisina, muiden vaihtoehtojen työvaiheissa 1 ja 2 ollessa enemmän työtä. Kokonaisen työkierron työmäärän jäädessä pienimmäksi, olisi tämä vaihtoehto myös tuotannollisesti tehokkain ratkaisu. Riskitekijänä tässä vaihtoehdossa kuitenkin on konenäön tarkkuus, joka ei välttämättä yllä tarpeeksi tarkaksi tartuntapisteen paikoitusta varten.

Toimintavarmuudessaan, toteutuksen vaihtoehdot 2. ja 3. ovat samaa luokkaa ja molemmat reilusti vaihtoehtoa 1. varmatoimisempia. Sekä jigi- että soft absorber menetelmät yltyvät melko varmasti tavoiteltuun paikoitustarkkuutteen ja hyvin suunniteltuna, mekaaniset toimintavirheen mahdollisuudet jäävät pieniksi. Vaihtoehdossa 2. – vaihtoehto 1. tapaan – ei tarvitse rakentaa mitään lisää, mutta tässä vaihtoehdossa tehdään työvaiheissa eniten työtä. Työmäärä lisääntyy oleellisesti työvaiheessa 2, koska sorvin revolveri liikkuu vain, kun sorvin ovi on kiinni. Robotin pitää siis ensin työntää aihio syvälle karaputkeen, tulla ulos sorvista ja sen jälkeen mennä uudestaan sorviin vetämään aihio revolveria päin. Näinollen vaihtoehto 2. jääkin tuotantotehokkuudeltaan heikoimmaksi.

Työläin toteuttaa on vaihtoehto 3. koska tämä vaihtoehto edellyttää jiggin rakentamista. Tuotantotehokkuudeltaan tämä vaihtoehto on selvästi vaihtoehtoa 2. parempi – työmäärän ollessa pienempi – mutta jää hieman jälkeen vaihtoehdosta 1.

5 TYÖN TULOKSET

5.1 Soluun tehdyt muutostyöt

5.1.1 Yleisesti

Tässä opinnäytetyössä, soluun tehdyt fyysiset muutostyöt kohdistuivat suunnitellusti sorviin, robotin työkaluun ja ahiokappalemakasiinin luomiseen sekä sen johdosta hieman lay-outiin. Muutostöitä ei siis tullut suunniteltua enemmän ja suuremmilta takaiskuilta vältyttiin.

5.1.2 Ahiomakasiini

Valmis ahiomakasiini saatiin kokoonpantua ja asennettua täysin työn alussa tehtyjen suunnitelmien mukaisesti. Makasiinin paikka on solun lay-outin kannalta toimiva ja se osa, joka on makasiinista solun aitauksen ulkopuolella, ei ole oleellisesti muiden töiden tiellä. Koetäytön ja robotin testiajon perusteella, voidaan sanoa, että makasiini myös toimii tavoitellusti: putkiaihiot käyttäytyvät luontevasti jokaisella tasolla ja niiden poiminta robotilla onnistuu ongelmitta.

Makasiinin koko on kohtuullinen, koska se vaatii korkeintaan yhden täytön koko tilauserän (120 – 200 kpl) valmistamiseksi. Makasiinista saatiin myös erittäin vankkarakenteinen ja tukevasti paikoillaan pysyvä, lattiaan pulttaamisen- ja suhteellisen raskaiden teräsrakenteidensa ansiosta.

5.1.3 Robotin tarrain

Uudella robotin tarraintyökalulla saadaan käsiteltyä kappaleita riittävän hyvin. Uuden tarraimen yleinen ote putkesta on hieman huteruutta ja putkia pystyy käsin heiluttamaan tarraimessa. Otteen lievästä huteruudesta riippumatta, putket pysyvät tarraimen hallussa riittävän hyvin. Putket eivät heilu tarraimessa, ellei niitä heiluta ja robotin suorittaessa suunniteltua työkiertoa, putkiin ei vaikuta juurikaan ulkoisia voimia. Tarrainta on testattu sen kaikissa käyttökohteissa ja se on todettu toimivaksi.

5.1.4 Sorvi

Sorvin tiedettiin jo työn alussa olevan haasteellisen ahdas, näinkin suurikokoisille tuotteille. Kun sorvin sisältä irroitettiin tilaa vievä kärkipylkkä – jota ei tässä sovelluksessa tarvita – vapautui sorvista riittävästi tilaa putkille. Tilaa ei kuitenkaan ole vieläkään paljon, joten robotin automaattiohjelmaa tehtäessä, pitää siirtojen liikeradat katsoa hyvin tarkasti törmäysten välttämiseksi.

5.2 Tuotantosolun automaattikäyttö

Tuotantosolu saatiin valmisteltua automaattikäyttöön niin, että se vaatii käytännössä vain työn toimeksiantajan toiveiden mukaisen automaattiohjelman. Tässä työssä suunniteltiin kolme erilaista vaihtoehtoa automaattikäytön toteuttamiseen, joista yhden toteuttamiseksi pitää vielä rakentaa soluun yksi elementti lisää. Kaikki toteutuksen vaihtoehdot tiedetään tässä vaiheessa — testausten perusteella – olevan toimivia, joten päätös siitä, mikä näistä kolmesta vaihtoehdoista otetaan käyttöön, jää työn toimeksiantajan mieltymysten mukaan valittavaksi.

6 YHTEENVETO JA ARVIOINTI

6.1 Toimivuus

Robotin käsiajolla tehtyjen testiajojen perusteella, kaikki toiminnot tuntuvat toimivan riittävän hyvin, automaattikäyttöön siirtymistä varten. Aihiomakasiini ei liiku suurestakaan tärinästä, tai vaikka siihen törmäisi robotilla. Putkiaihiot käyttäytyvät varmatoimisesti makasiinissa ja niitä kyetään poimimaan tasoilta robotilla ongelmitta. Robotti mahtuu myös viemään putkiaihion sorviin koneistukseen, vaikka sorvi ahdas onkin. Jos jokin tässä työssä suunnitelluista automaattikäytön toteutuksista ei – syystä- tai toisesta – toimi riittävän luotettavasti, on sille olemassa vaihtoehtoiset toteutustavat.

6.2 Työn hyödyllisyys yritykselle

Kuten automaatio tuotantolaitoksissa yleensäkin, tämänkin työn suurimpana hyötynä voidaan pitää työvoiman vapauttamista muihin tehtäviin, josta seuraa välittömästi suurempi tuotantotehokkuus ja pidemmällä aikavälillä säästöt työvoimakustannuksissa. Suojusputkien sorvauksessa on aiemmin kappaleenvaihto toteutettu käsityönä, joka on yksitoikkoista ja suhteellisen puuduttavaa työtä, joten putkituotannon automatisointi lisää myös työviihtyvyyttä Kilkanen Oy:ssä. Suojusputkia tilataan Kilkanen Oy:ltä säännöllisesti, eikä mikään viittaa siihen, että tilaukset loppuisivat lähiaikoina, joten työstä saatavat hyödyt kertaantuvat mitä luultavimmin vuosien saatossa.

6.3 Oma arviointi opinnäytetyöstä

Opinnäytetyöprojektin aikataulu meni sekaisin jo työn alussa, koska lähes jokaisessa työn vaiheessa ilmeni jotain ylimääräistä työtä, joka osaltaan pidensi ajallisesti koko työvaihetta. Vaikka aikataulu menikin sekaisin, työ saatiin kuitenkin tehtyä ja tavoitteisiin päästiin, siksi pidänkin tätä opinnäytetyötä onnistuneena.

Vaativin ja laajin – mutta samalla palkitsevin – osuus työssä oli ehdottomasti aihiomakasiinin suunnittelu, koska ajan puutteen vuoksi, käytännössä makasiinin

ensimmäinen valmistettu versio piti olla toimiva ja sen lopulliseen toimivuuteen liittyi runsaasti riskitekijöitä. Suurimmat riskitekijät sisältyivät tässä tapauksessa siihen, ettei makasiinista ehditty rakentamaan prototyyppiä, jolla mahdollisia suunnitteluvirheitä oltaisiin päästy toteamaan. Suunnitteluvaiheessa ylimääräistä stressiä aiheuttikin se, että havaitsenko suunnitelmissa kaikki mahdolliset sudenkuopat, jotka voivat vaikuttaa valmiin makasiinin toimivuuteen. Lisäksi – kuten tuotesuunnittelussa poikkeuksetta käy – jouduttiin makasiinia suunniteltaessa turvautumaan joissakin kohteissa pieniin kompromisseihin. Nämä kompromissit osaltaan horjuttavat lopullisen tuotteen toimintavarmuutta. Siispä kun makasiini lopuksi todettiin toimivaksi, olin työhöni erittäin tyytyväinen.

Sekä ahiomakasiinia suunnitellessa-, että muissa työn kohteissa ongelmia kohdatessani, sain ongelmat aina jotenkin ratkaistua. Siispä mielestäni ongelmanratkaisutaitoni saivat hyvää, kaipaamaansa harjoitusta tätä opinnäytetyötä tehdessäni.

Tästä työstä saadun kokemuksen perusteella, seuraavan projektini aikatauluun suunnittelen enemmän pelivaraa, jos projektissa pitää tehdä näinkin paljon sellaista, jota ei ole ennen tehty. Tätä työtä tehdessäni, huomasin, että kun melkein kaikki vaiheet pitää tehdä periaatteessa kokeilun kautta, ilmenee lähes väistämättä joka kerta jotain odottamatonta.

LÄHTEET

- /1/ ABB –Tuotekatalogi. IRB 7600 - the Power Robot. Viitattu 10.4.2012.
<http://www.abb.fi/product/seitp327/3a3b8bda4d60a689c12572e60033907a.aspx?productLanguage=fi&country=FI>
- /2/ Al-Hamdany. A. Lectures – Term A. University of Cambridge - Student-Run Computing Facility. Viitattu 7.5.2012.
<http://www.srcf.ucam.org/~aaa68/termA.html>
- /3/ Al-Hamdany. A. Lectures – Term C. University of Cambridge - Student-Run Computing Facility. Viitattu 7.5.2012.
<http://www.srcf.ucam.org/~aaa68/termC.html>
- /4/ Cellular Manufacturing. eNotes. Viitattu 7.5.2012.
<http://www.enotes.com/cellular-manufacturing-reference/cellular-manufacturing>
- /5/ FANUC Robotics –Tuotekatalogi. M-2000iA™ Series. Viitattu 10.4.2012.
http://www.fanucrobotics.com/cmsmedia/datasheets/M-2000iA%20Series_23.pdf
- /6 Foundry-Planet.com – Corporate news. 2008. Software from ABB solves machining problems. Viitattu 10.4.2012. <http://www.foundry-planet.com/detailview-corporate/software-from-abb-solves-machining-problems.html>
- /7/ Ghorpade. P. 2011. Robot Applications. Mechanical Prasad –Blogi. Viitattu 7.5.2012. <http://mechanicaldatahelp.blogspot.com/2011/02/robot-applications.html>
- /8/ Gidinceanu. C. 2011. RobotStudio Tutorials | Robot Motion. CADBlog.info. Viitattu 10.4.2012. <http://cadblog.info/2011/03/03/robot-motion/>
- /9/ Industrial Machinery Export Bilbao. Viitattu 10.4.2012.
<http://www.eurobots.net/descprn/id/94/print/Other-Robots-Adept-Viper-S650-en.html>
- /10/ International Federation of Robotics (IFR). Standardization ISO. Viitattu 10.4.2012. <http://www.ifr.org/standardisation/>
- /11/ International Federation of Robotics. Types of industrial robots. Viitattu 10.4.2012. <http://www.ifr.org/industrial-robots/products/>
- /12/ Kawasaki Robotics (USA) Inc. – RS20N Product Specification. Viitattu 23.4.2012.
<http://www.kawasakirobotics.com/swf/productSelectorSpecs/RS20N.pdf>
- /13/ Kehittämissuunnitelmat. Edu.fi. Viitattu 7.5.2012.
<http://www04.edu.fi/liiketoimintasuunnitelma/addcollapsing.asp?file=kehittamissuunnitelmat.htm&toggle=7&dummy=7>

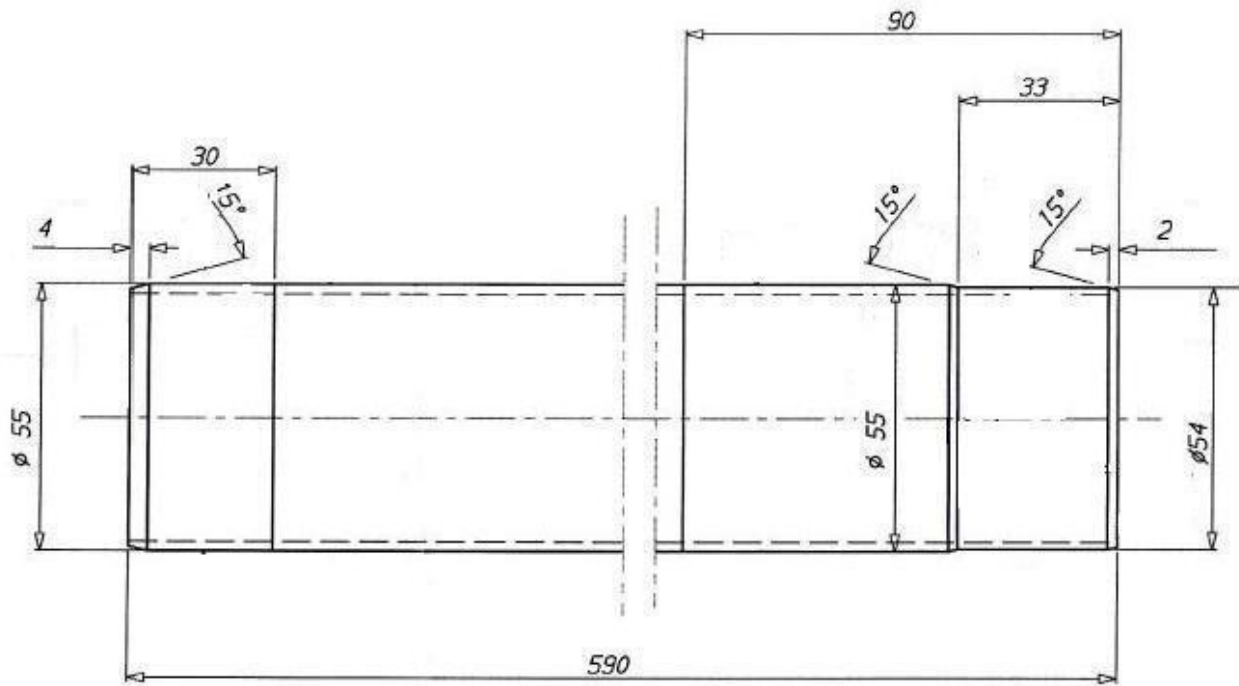
- /14/ Koepfer, C. 2009. Upgrading Rotary Transfer Machines on the Shop Floor. Production Machining (PM). Viitattu 16.4.2012.
<http://www.productionmachining.com/articles/upgrading-rotary-transfer-machines-on-the-shop-floor>
- /15/ Lahden Ammattikorkeakoulu – Robotiikan peruskurssin luentomateriaali. Viitattu 23.4.2012.
http://miniweb.lpt.fi/automaatio/opetus/luennot/pdf_tiedostot/Robotiikka_yleinen.pdf
- /16/ Orfer Oy. Kone- ja sähkökansio. Viitattu 25.4.2012.
- /17/ Robotmaster. 2011. Solving programming challenges. Viitattu 10.4.2012
<http://www.robotmaster.com/benefits.php>
- /18/ Schmalz, Inc. 2009. Large-area vacuum gripping systems SPZ. Robotics Online – News. Viitattu 7.5.2012. http://www.robotics.org/content-detail.cfm/Industrial-Robotics-News/Large-area-vacuum-gripping-systems-SPZ/content_id/1444
- /19/ ThomasNet News. 2008. Magnetic Gripper handles ferromagnetic workpieces. Viitattu 7.5.2012. <http://news.thomasnet.com/fullstory/Magnetic-Gripper-handles-ferromagnetic-workpieces-814558>
- /20/ ThomasNet News. 2004. Touch Panel comes with integrated Web browser. Viitattu 10.4.2012. <http://news.thomasnet.com/fullstory/Touch-Panel-comes-with-integrated-Web-browser-455888>
- /21/ ThoughtWare Australia Pty. Ltd. 2005-2010. Example i.on my Risk Matrix. Viitattu 10.4.2012. <http://www.ionmy.com.au/risk-matrix.aspx>
- /22/ Williamzian. R. 2009. Robotics and Automation Revolutionising the Workplace. Dunia Engineering Indonesia. Viitattu 16.4.2012.
<http://duniaengineering.wordpress.com/2009/03/10/robotics-and-automation-revolutionising-the-workplace/>
- /23/ YT22 Investoinnin laskenta.Yritystulkki. Viitattu 7.5.2012.
http://www.yritystulkki.fi/files/yt22_investoinnin_laskenta_pre.pdf
- /23/ ThomasNet News. 2008. Magnetic Gripper handles ferromagnetic workpieces. Viitattu 7.5.2012. <http://news.thomasnet.com/fullstory/Magnetic-Gripper-handles-ferromagnetic-workpieces-814558>

LIITTEET

- LIITE 1.** Työntötankojen suojusputkien tekniset piirustukset
- LIITE 2.** Robottisolun tekninen lay-out –piirustus (alkuperäinen)
- LIITE 3.** Robotin uuden tarraimen tekniset piirustukset

LIITE 1

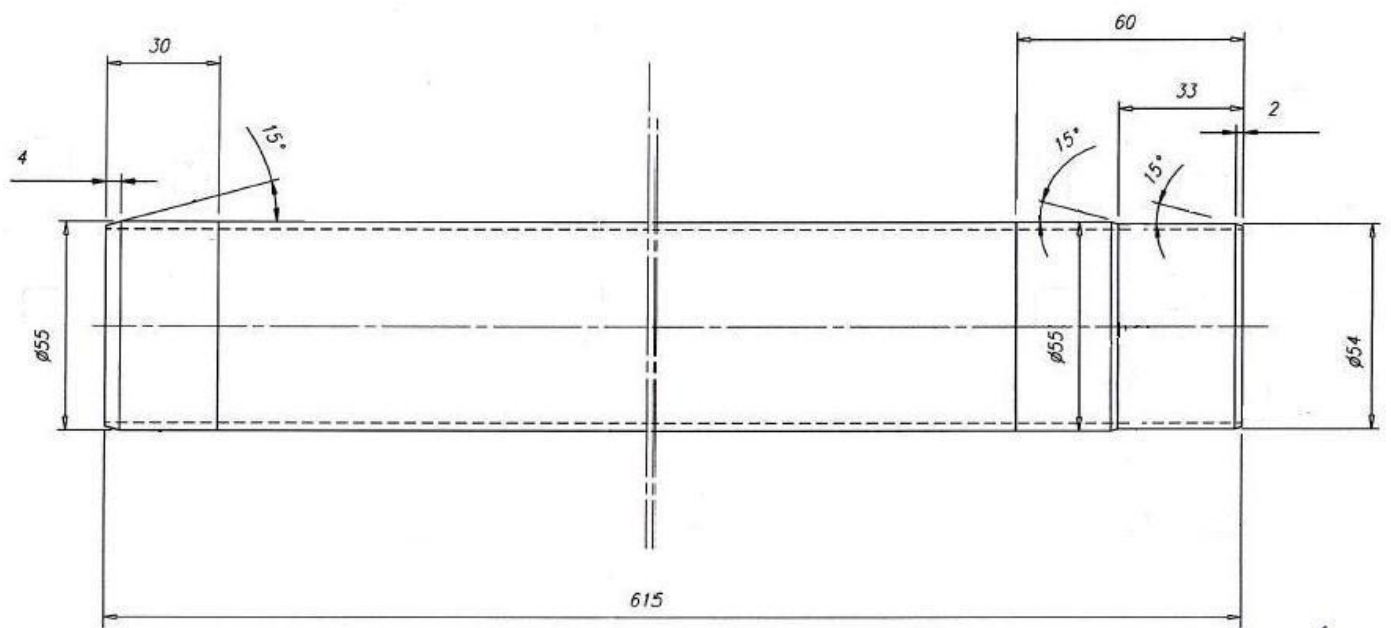
Tuotevariaatio 2.



Erälcoko 200 kpl

LIITE 1

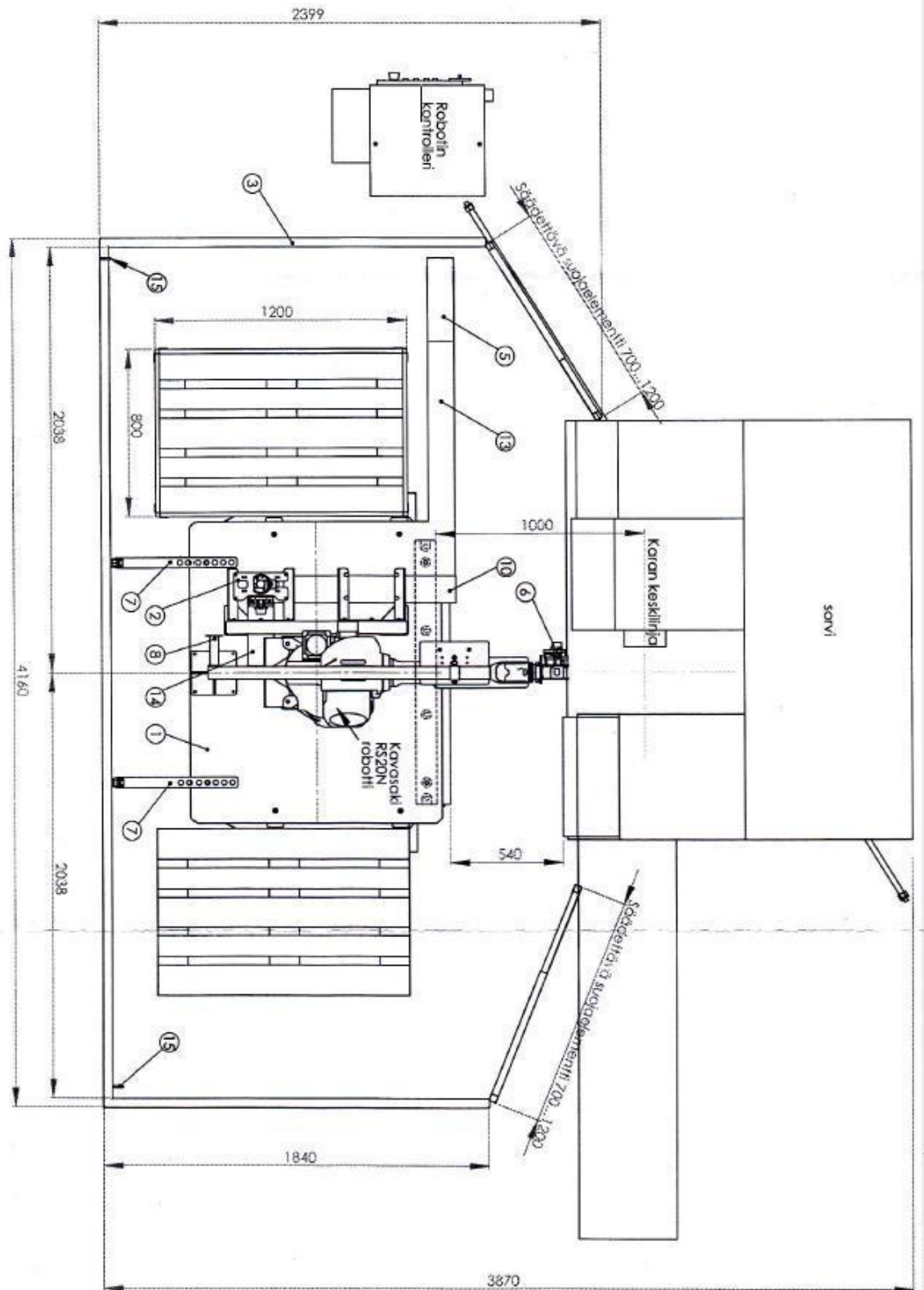
Tuotevariaatio 3.



Eräleikka 120 kpl

LIITE 2

Robottisolun tekninen lay-out –piirustus (alkuperäinen)



LIITE 3

Robotin uuden tarraimen tekniset piirustukset

